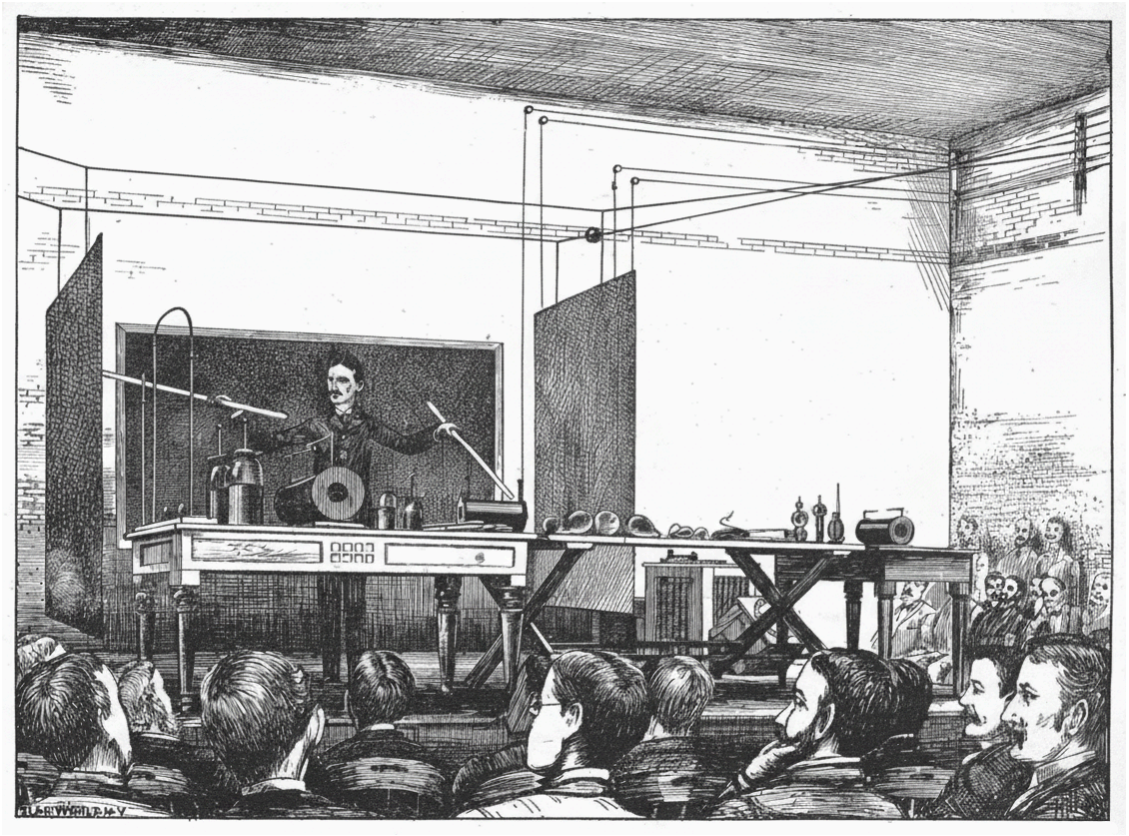
Nikola Tesla

Presentado ante el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos,
Columbia College, N.Y., 20 de mayo de 1891.



No hay tema más cautivador, más digno de estudio, que la naturaleza. Entender este gran mecanismo, descubrir las fuerzas que están activas y las leyes que las gobiernan, es el más alto objetivo del intelecto del hombre.

La naturaleza ha almacenado en el universo energía infinita. El eterno receptor y transmisor de esta energía infinita es el éter. El reconocimiento de la existencia del éter, y de las funciones que desempeña, es uno de los resultados más importantes de la investigación científica moderna. El mero abandono de la idea de la acción a distancia, la asunción de un medio que impregna todo el espacio y conecta toda la materia bruta, ha liberado las mentes de los pensadores de una duda siempre presente y, al abrir un nuevo horizonte —nuevas e imprevistas posibilidades—, ha dado un renovado interés a fenómenos con los que estamos familiarizados desde antiguo. Ha sido un gran paso hacia la comprensión de las fuerzas de la naturaleza y sus múltiples manifestaciones a nuestros sentidos. Ha sido para el estudiante ilustrado de la física lo que la comprensión del mecanismo del arma de fuego o de la máquina de vapor es para el bárbaro. Fenómenos que solíamos considerar como maravillas que desafiaban toda explicación, ahora los vemos bajo una luz diferente. La chispa de una bobina de inducción, el brillo de una lámpara incandescente, las

manifestaciones de las fuerzas mecánicas de las corrientes y los imanes ya no están fuera de nuestro alcance; en lugar de lo incomprensible, como antes, su observación sugiere ahora en nuestras mentes un mecanismo simple, y aunque en cuanto a su naturaleza precisa todo es todavía conjetura, sabemos que la verdad no puede permanecer oculta por mucho más tiempo, e instintivamente sentimos que la comprensión está amaneciendo en nosotros. Aún admiramos estos hermosos fenómenos, estas extrañas fuerzas, pero ya no estamos indefensos; podemos en cierta medida explicarlos, dar cuenta de ellos, y tenemos la esperanza de tener éxito finalmente en desentrañar el misterio que los rodea.

Hasta qué punto podemos entender el mundo que nos rodea es el pensamiento último de todo estudiante de la naturaleza. La tosquedad de nuestros sentidos nos impide reconocer la estructura ulterior de la materia, y la astronomía, la más grandiosa y positiva de las ciencias naturales, solo puede enseñarnos algo que sucede, por así decirlo, en nuestra vecindad inmediata; de las porciones más remotas del universo ilimitado, con sus innumerables estrellas y soles, no sabemos nada. Pero mucho más allá del límite de percepción de nuestros sentidos, el espíritu aún puede guiarnos, y así podemos esperar que incluso estos mundos desconocidos —infinitamente pequeños y grandes— puedan en cierta medida llegar a sernos conocidos. Aun así, incluso si este conocimiento nos llegara, la mente inquisitiva encontrará una barrera, quizás para siempre insuperable, para el verdadero reconocimiento de aquello que parece ser, cuya mera apariencia es la única y delgada base de toda nuestra filosofía.

De todas las formas de la energía de la naturaleza, inconmensurable y que todo lo impregna, que siempre y para siempre cambia y se mueve, como un alma que anima el universo inerte, la electricidad y el magnetismo son quizás las más fascinantes. Los efectos de la gravitación, del calor y de la luz los observamos a diario, y pronto nos acostumbramos a ellos, y pronto pierden para nosotros el carácter de lo maravilloso y asombroso; pero la electricidad y el magnetismo, con su singular relación, con su aparente carácter dual, único entre las fuerzas de la naturaleza, con sus fenómenos de atracciones, repulsiones y rotaciones, extrañas manifestaciones de agentes misteriosos, estimulan y excitan la mente al pensamiento y la investigación. ¿Qué es la electricidad y qué es el magnetismo? Estas preguntas han sido formuladas una y otra vez. Los intelectos más capaces han luchado incesantemente con el problema; aun así, la pregunta todavía no ha sido respondida por completo. Pero aunque ni siquiera hoy podemos afirmar qué son estas singulares fuerzas, hemos avanzado mucho hacia la solución del problema. Ahora estamos seguros de que los fenómenos eléctricos y magnéticos son atribuibles al éter, y quizás estemos justificados al decir que los efectos de la electricidad estática son efectos del éter bajo tensión, y los de la electricidad dinámica y el electromagnetismo, efectos del éter en movimiento. Pero esto todavía deja sin respuesta la pregunta sobre qué son la electricidad y el magnetismo.

Primero, naturalmente nos preguntamos: ¿Qué es la electricidad, y existe tal cosa como la electricidad? Al interpretar los fenómenos eléctricos, podemos hablar de electricidad o de una condición, estado o efecto eléctrico. Si hablamos de efectos eléctricos, debemos distinguir dos de tales efectos, de carácter opuesto y que se neutralizan mutuamente, ya que la observación muestra que existen dos de tales efectos opuestos. Esto es inevitable, pues en un medio con las propiedades del éter, no podemos posiblemente ejercer una tensión, o producir un desplazamiento o movimiento de ningún tipo, sin causar en el medio circundante un efecto equivalente y opuesto. Pero si hablamos de electricidad, queriendo decir una cosa, debemos, creo, abandonar la idea de dos electricidades, ya que la existencia de dos cosas así es altamente improbable. Pues, ¿cómo podemos imaginar que debería haber dos cosas, equivalentes en cantidad, iguales en sus propiedades, pero de carácter opuesto, ambas aferrándose a la materia, ambas atrayéndose y neutralizándose completamente entre sí? Tal suposición, aunque sugerida por muchos fenómenos, y muy conveniente para explicarlos, tiene poco que la recomiende. Si existe tal cosa como la electricidad, solo puede haber una cosa así; exceso y falta de esa única cosa, posiblemente; pero más probablemente su condición determina el carácter positivo y negativo. La vieja teoría de Franklin, aunque deficiente en algunos aspectos, es, desde cierto punto de vista, después de todo, la más plausible. Aun así, a pesar de esto, la teoría de las dos electricidades es generalmente aceptada, ya que aparentemente explica los fenómenos eléctricos de una manera más satisfactoria. Pero una teoría que explica mejor los hechos no es necesariamente verdadera. Mentes ingeniosas inventarán teorías para ajustarse a la observación, y casi todo pensador independiente tiene sus propias opiniones sobre el tema.

No es con el objeto de proponer una opinión, sino con el deseo de familiarizarlos mejor con algunos de los resultados que describiré, para mostrarles el razonamiento que he seguido, las desviaciones que he tomado, que me aventuro a expresar, en pocas palabras, las opiniones y convicciones que me han llevado a estos resultados.

Me adhiero a la idea de que hay una cosa que hemos tenido la costumbre de llamar electricidad. La pregunta es, ¿qué es esa cosa? o, ¿de todas las cosas cuya existencia conocemos, cuál tenemos la mejor razón para llamar electricidad? Sabemos que actúa como un fluido incompresible; que debe haber una cantidad constante de ella en la naturaleza; que no puede ser producida ni destruida; y, lo que es más importante, la teoría electromagnética de la luz y todos los hechos observados nos enseñan que los fenómenos eléctricos y del éter son idénticos. La idea se sugiere de inmediato, por lo tanto, que la electricidad podría llamarse éter. De hecho, este punto de vista ha sido en cierto sentido propuesto por el Dr. Lodge. Su interesante trabajo ha sido leído por todos y muchos han sido convencidos por sus argumentos. Su gran habilidad y la naturaleza interesante del tema mantienen al lector cautivado; pero cuando las impresiones se desvanecen, uno se da cuenta de que solo se trata de explicaciones ingeniosas. Debo confesar que no puedo creer en

dos electricidades, y mucho menos en un éter de doble constitución. El desconcertante comportamiento del éter como un sólido para las ondas de luz y calor, y como un fluido para el movimiento de los cuerpos a través de él, se explica ciertamente de la manera más natural y satisfactoria asumiendo que está en movimiento, como ha sugerido Sir William Thomson; pero independientemente de esto, no hay nada que nos permita concluir con certeza que, si bien un fluido no es capaz de transmitir vibraciones transversales de unos pocos cientos o miles por segundo, podría no ser capaz de transmitir tales vibraciones cuando alcanzan cientos de millones de millones por segundo. Tampoco nadie puede probar que haya ondas transversales de éter emitidas por una máquina de corriente alterna que da un pequeño número de alternancias por segundo; ante tales perturbaciones lentas, el éter, si está en reposo, puede comportarse como un verdadero fluido.

Volviendo al tema, y teniendo en cuenta que la existencia de dos electricidades es, como mínimo, altamente improbable, debemos recordar que no tenemos evidencia de la electricidad, ni podemos esperar tenerla, a menos que la materia bruta esté presente. La electricidad, por lo tanto, no puede llamarse éter en el sentido amplio del término; pero nada parecería oponerse a llamar a la electricidad éter asociado con la materia, o éter ligado; o, en otras palabras, que la llamada carga estática de la molécula es éter asociado de alguna manera con la molécula. Viéndolo desde esa perspectiva, estaríamos justificados al decir que la electricidad está involucrada en todas las acciones moleculares.

Ahora, qué es precisamente el éter que rodea a las moléculas, en qué difiere del éter en general, solo puede conjeturarse. No puede diferir en densidad, siendo el éter incompresible; debe, por lo tanto, estar bajo alguna tensión o en movimiento, y esto último es lo más probable. Para entender sus funciones, sería necesario tener una idea exacta de la construcción física de la materia, de la cual, por supuesto, solo podemos formarnos una imagen mental.

Pero de todas las visiones sobre la naturaleza, la que asume una materia y una fuerza, y una perfecta uniformidad en todo, es la más científica y la que tiene más probabilidades de ser cierta. Un mundo infinitesimal, con las moléculas y sus átomos girando y moviéndose en órbitas, de manera muy similar a los cuerpos celestes, llevando consigo y probablemente girando con ellos éter, o en otras palabras, llevando consigo cargas estáticas, me parece la visión más probable, y una que, de manera plausible, explica la mayoría de los fenómenos observados. El giro de las moléculas y su éter establece las tensiones del éter o tensiones electrostáticas; la igualación de las tensiones del éter establece los movimientos del éter o corrientes eléctricas, y los movimientos orbitales producen los efectos del electroimán y del magnetismo permanente.

Hace unos quince años, el Prof. Rowland demostró un hecho muy interesante e importante; a saber, que una carga estática que se mueve en círculo produce los

efectos de una corriente eléctrica. Dejando de lado la naturaleza precisa del mecanismo que produce la atracción y repulsión de las corrientes, y concibiendo las moléculas cargadas electrostáticamente en movimiento, este hecho experimental nos da una idea clara del magnetismo. Podemos concebir líneas o tubos de fuerza que existen físicamente, formados por hileras de moléculas en movimiento dirigido; podemos ver que estas líneas deben ser cerradas, que deben tender a acortarse y expandirse, etc. Igualmente explica de manera razonable el fenómeno más desconcertante de todos, el magnetismo permanente, y, en general, tiene todas las bellezas de la teoría de Ampere sin poseer el defecto vital de la misma, a saber, la suposición de corrientes moleculares. Sin extenderme más sobre el tema, diría que considero que todos los fenómenos electrostáticos, de corriente y magnéticos se deben a fuerzas moleculares electrostáticas.

Las observaciones precedentes me han parecido necesarias para una comprensión completa del tema tal como se presenta en mi mente.
De todos estos fenómenos, los más importantes para estudiar son los fenómenos de corriente, debido al ya extenso y siempre creciente uso de las corrientes para fines industriales. Ha pasado un siglo desde que se produjo la primera fuente práctica de corriente, y, desde entonces, los fenómenos que acompañan al flujo de las corrientes han sido diligentemente estudiados, y mediante los incansables esfuerzos de hombres de ciencia se han descubierto las leyes simples que los gobiernan. Pero se encuentra que estas leyes solo se cumplen cuando las corrientes son de carácter constante. Cuando las corrientes varían rápidamente en intensidad, se presentan fenómenos bastante diferentes, a menudo inesperados, y rigen leyes bastante diferentes, que aún hoy no se han determinado tan completamente como sería deseable, aunque gracias al trabajo, principalmente, de científicos ingleses, se ha adquirido suficiente conocimiento sobre el tema para permitirnos tratar casos simples que ahora se presentan en la práctica diaria.
Los fenómenos que son peculiares al carácter cambiante de las corrientes se exaltan en gran medida cuando se incrementa la tasa de cambio, de ahí que el estudio de estas corrientes se facilite considerablemente mediante el empleo de aparatos debidamente construidos. Fue con este y otros objetivos en mente que construí máquinas de corriente alterna capaces de producir más de dos millones de inversiones de corriente por minuto, y es principalmente a esta circunstancia a la que debo el poder presentarles algunos de los resultados alcanzados hasta ahora; resultados que espero demuestren ser un avance debido a su relación directa con uno de los problemas más importantes, a saber, la producción de una fuente de luz práctica y eficiente.
El estudio de corrientes alternas tan rápidas es muy interesante. Casi cada experimento revela algo nuevo. Muchos resultados pueden, por supuesto, predecirse, pero muchos más son imprevistos. El experimentador realiza muchas observaciones interesantes. Por ejemplo, tomamos un trozo de hierro y lo sostenemos contra un imán. Comenzando con bajas alternancias y subiendo cada vez más, sentimos que los impulsos se suceden cada vez más rápido, se debilitan

cada vez más y finalmente desaparecen. Luego observamos una atracción continua; la atracción, por supuesto, no es continua; solo nos lo parece; nuestro sentido del tacto es imperfecto.
A continuación, podemos establecer un arco entre los electrodos y observar, a medida que aumentan las alternancias, que la nota que acompaña a los arcos alternos se vuelve cada vez más aguda, se debilita gradualmente y finalmente cesa. Las vibraciones del aire, por supuesto, continúan, pero son demasiado débiles para ser percibidas; nuestro sentido del oído nos falla.
Observamos los pequeños efectos fisiológicos, el rápido calentamiento de los núcleos de hierro y los conductores, curiosos efectos inductivos, interesantes fenómenos de condensador y fenómenos de luz aún más interesantes con una bobina de inducción de alta tensión. Todos estos experimentos y observaciones serían del mayor interés para el estudiante, pero su descripción me alejaría demasiado del tema principal. En parte por esta razón, y en parte por su importancia muchísimo mayor, me limitaré a la descripción de los efectos luminosos producidos por estas corrientes.
En los experimentos con este fin se utiliza una bobina de inducción de alta tensión o un aparato equivalente para convertir corrientes de tensión comparativamente baja en corrientes de alta tensión.
Si se interesan lo suficiente en los resultados que describiré como para emprender un estudio experimental de este tema; si se convencen de la verdad de los argumentos que expondré, su objetivo será producir altas frecuencias y altos potenciales; en otras palabras, potentes efectos electrostáticos. Entonces encontrarán muchas dificultades que, si se superan por completo, nos permitirían producir resultados verdaderamente maravillosos.
Primero se presentará la dificultad de obtener las frecuencias requeridas mediante aparatos mecánicos, y, si se obtienen de otra manera, se presentarán obstáculos de diferente naturaleza. A continuación, resultará difícil proporcionar el aislamiento necesario sin aumentar considerablemente el tamaño del aparato, ya que los potenciales requeridos son altos y, debido a la rapidez de las alternancias, el aislamiento presenta dificultades peculiares. Así, por ejemplo, cuando hay un gas presente, la descarga puede abrirse paso, por el bombardeo molecular del gas y el consiguiente calentamiento, a través de hasta una pulgada del mejor material aislante sólido, como vidrio, caucho duro, porcelana, cera de lacre, etc.; de hecho, a través de cualquier sustancia aislante conocida. El requisito principal en el aislamiento del aparato es, por lo tanto, la exclusión de cualquier materia gaseosa.
En general, mi experiencia tiende a mostrar que los cuerpos que poseen la mayor capacidad inductiva específica, como el vidrio, ofrecen un aislamiento más bien inferior a otros que, aunque son buenos aislantes, tienen una capacidad inductiva específica mucho menor, como los aceites, por ejemplo, siendo las pérdidas dieléctricas sin duda mayores en los primeros. La dificultad de aislar, por supuesto, solo existe cuando los potenciales son excesivamente altos, ya que con potenciales de unos pocos miles de voltios no hay ninguna dificultad particular en transportar corrientes desde una máquina que produce, digamos, 20.000 alternancias por

segundo, a una distancia considerable. Sin embargo, este número de alternancias es, con mucho, demasiado pequeño para muchos propósitos, aunque bastante suficiente para algunas aplicaciones prácticas. Esta dificultad de aislamiento, afortunadamente, no es un inconveniente vital; afecta principalmente al tamaño del aparato, ya que, cuando se utilizan potenciales excesivamente altos, los dispositivos luminosos se ubicarían no lejos del aparato, y a menudo estarían muy cerca de él. Como el bombardeo de aire del cable aislado depende de la acción del condensador, la pérdida puede reducirse a una nimiedad utilizando cables excesivamente delgados y fuertemente aislados.

Otra dificultad se encontrará en la capacidad y autoinducción necesariamente poseídas por la bobina. Si la bobina es grande, es decir, si contiene una gran longitud de alambre, generalmente no será adecuada para frecuencias excesivamente altas; si es pequeña, puede ser adecuada para tales frecuencias, pero el potencial podría no ser tan alto como se desea. Un buen aislante, y preferiblemente uno que posea una pequeña capacidad inductiva específica, ofrecería una doble ventaja. Primero, nos permitiría construir una bobina muy pequeña capaz de soportar enormes diferencias de potencial; y segundo, una bobina tan pequeña, debido a su menor capacidad y autoinducción, sería capaz de una vibración más rápida y vigorosa. El problema, entonces, de construir una bobina o aparato de inducción de cualquier tipo que posea las cualidades requeridas lo considero de no poca importancia, y me ha ocupado durante un tiempo considerable.

El investigador que desee repetir los experimentos que describiré, con una máquina de corriente alterna, capaz de suministrar corrientes de la frecuencia deseada, y una bobina de inducción, hará bien en sacar la bobina primaria y montar la secundaria de tal manera que pueda mirar a través del tubo sobre el que está enrollada la secundaria. Así podrá observar las corrientes que pasan del primario al tubo aislante, y por su intensidad sabrá hasta qué punto puede forzar la bobina. Sin esta precaución, seguramente dañará el aislamiento. Este arreglo permite, sin embargo, un fácil intercambio de los primarios, lo cual es deseable en estos experimentos.

La selección del tipo de máquina más adecuado para el propósito debe dejarse al juicio del experimentador. Aquí se ilustran tres tipos distintos de máquinas que, además de otras, he utilizado en mis experimentos.

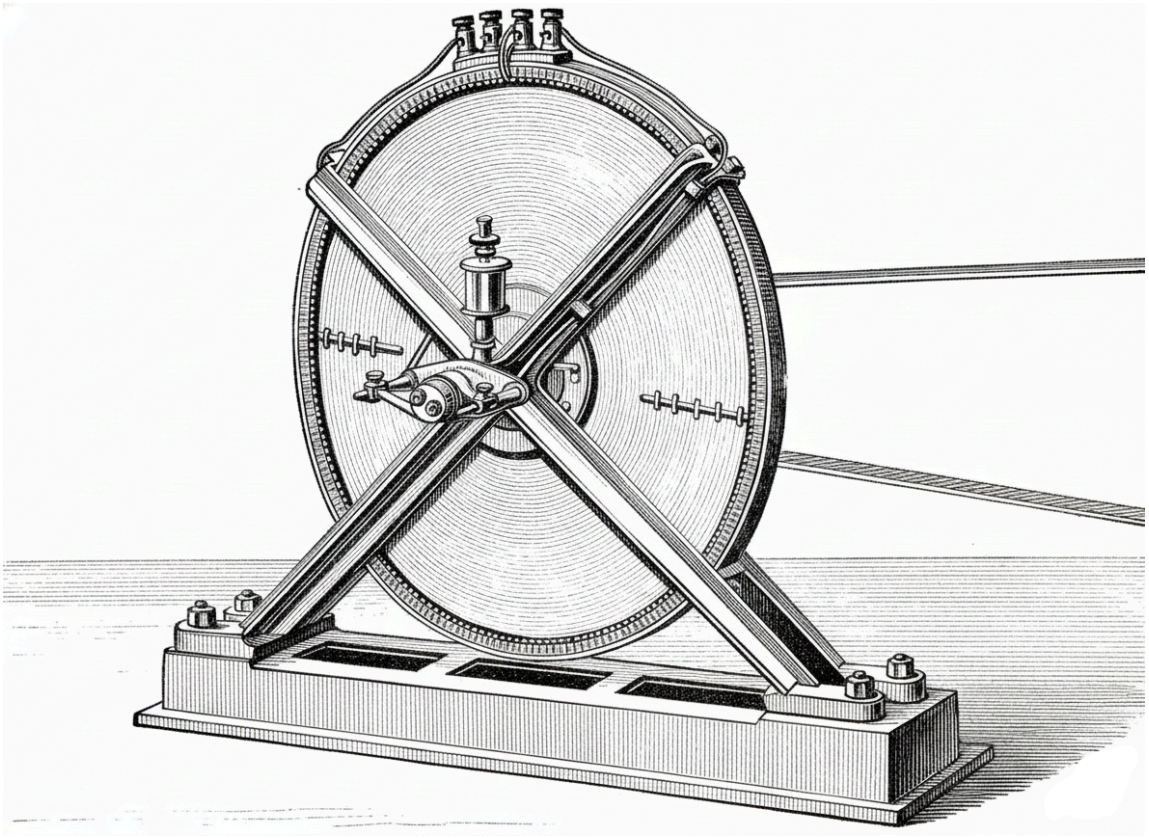


Fig. 97

La Fig. 97 representa la máquina utilizada en mis experimentos ante este Instituto. El electroimán de campo consiste en un anillo de hierro forjado con 384 proyecciones polares. El inducido comprende un disco de acero al que se sujeta una delgada llanta de hierro forjado, cuidadosamente soldada. Sobre la llanta se enrollan varias capas de alambre de hierro fino y bien recocido que, una vez enrollado, se impregna con goma laca. Los alambres del inducido se enrollan alrededor de clavijas de latón, envueltas con hilo de seda. El diámetro del alambre del inducido en este tipo de máquina no debe ser superior a 1/6 del espesor de las proyecciones polares, de lo contrario la acción local será considerable.

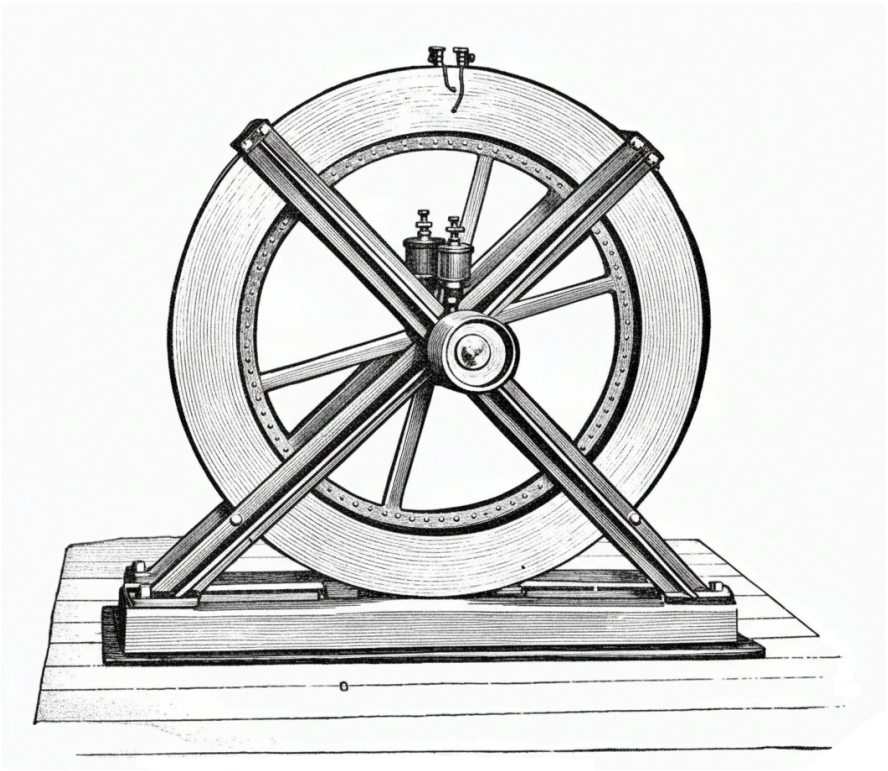


Fig. 98

La Fig. 98 representa una máquina más grande de un tipo diferente. El electroimán de campo de esta máquina consta de dos partes iguales que o bien encierran una bobina de excitación, o bien están bobinadas de forma independiente. Cada parte tiene 480 proyecciones polares, las proyecciones de una enfrentadas a las de la otra. El inducido consiste en una rueda de bronce duro, que porta los conductores que giran entre las proyecciones del electroimán de campo. Para bobinar los conductores del inducido, he encontrado que lo más conveniente es proceder de la siguiente manera. Construyo un anillo de bronce duro del tamaño requerido. Este anillo y la llanta de la rueda se proveen con el número adecuado de clavijas, y ambos se fijan sobre una placa. Una vez bobinados los conductores del inducido, se cortan las clavijas y los extremos de los conductores se sujetan mediante dos anillos que se atornillan al anillo de bronce y a la llanta de la rueda, respectivamente. El conjunto puede entonces retirarse y forma una estructura sólida. Los conductores en tal tipo de máquina deben consistir en lámina de cobre, cuyo espesor, por supuesto, depende del espesor de las proyecciones polares; o si no, se deben emplear alambres delgados trenzados.

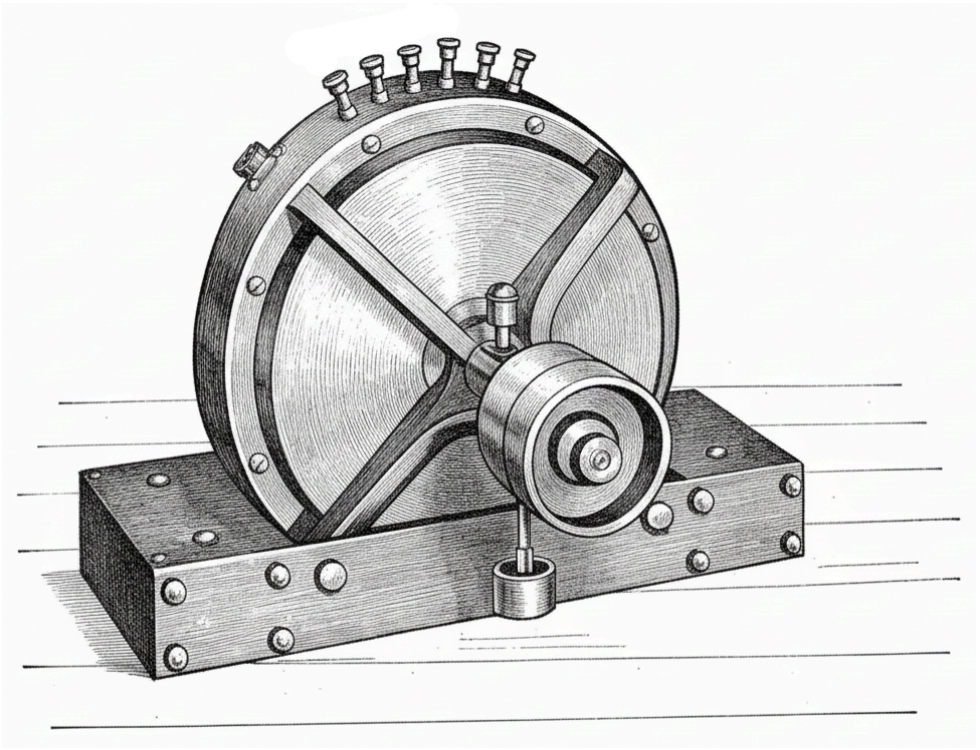


Fig. 99

La Fig. 99 es una máquina más pequeña, en muchos aspectos similar a la anterior, solo que aquí los conductores del inducido y la bobina de excitación se mantienen estacionarios, mientras que solo un bloque de hierro forjado gira.

Sería alargar inútilmente esta descripción si me detuviera más en los detalles de construcción de estas máquinas. Además, han sido descritas de manera algo más elaborada en The Electrical Engineer, del 18 de marzo de 1891. Considero oportuno, sin embargo, llamar la atención del investigador sobre dos cosas, cuya importancia, aunque evidente, es propenso a subestimar; a saber, la acción local en los conductores, que debe evitarse cuidadosamente, y la holgura, que debe ser pequeña. Puedo añadir que, dado que es deseable utilizar velocidades periféricas muy altas, el inducido debe ser de un diámetro muy grande para evitar velocidades de correa impracticables. De los varios tipos de estas máquinas que he construido, he encontrado que el tipo ilustrado en la Fig. 97 me causó el menor problema en la construcción, así como en el mantenimiento, y en general, ha sido una buena máquina experimental.

Al operar una bobina de inducción con corrientes alternas muy rápidas, entre los primeros fenómenos luminosos que se notan están, naturalmente, los presentados por la descarga de alta tensión. A medida que se aumenta el número de alternancias por segundo, o a medida que —siendo el número alto— se varía la corriente a través del primario, la descarga cambia gradualmente de apariencia. Sería difícil describir los cambios menores que ocurren, y las condiciones que los provocan, pero se pueden notar cinco formas distintas de la descarga.

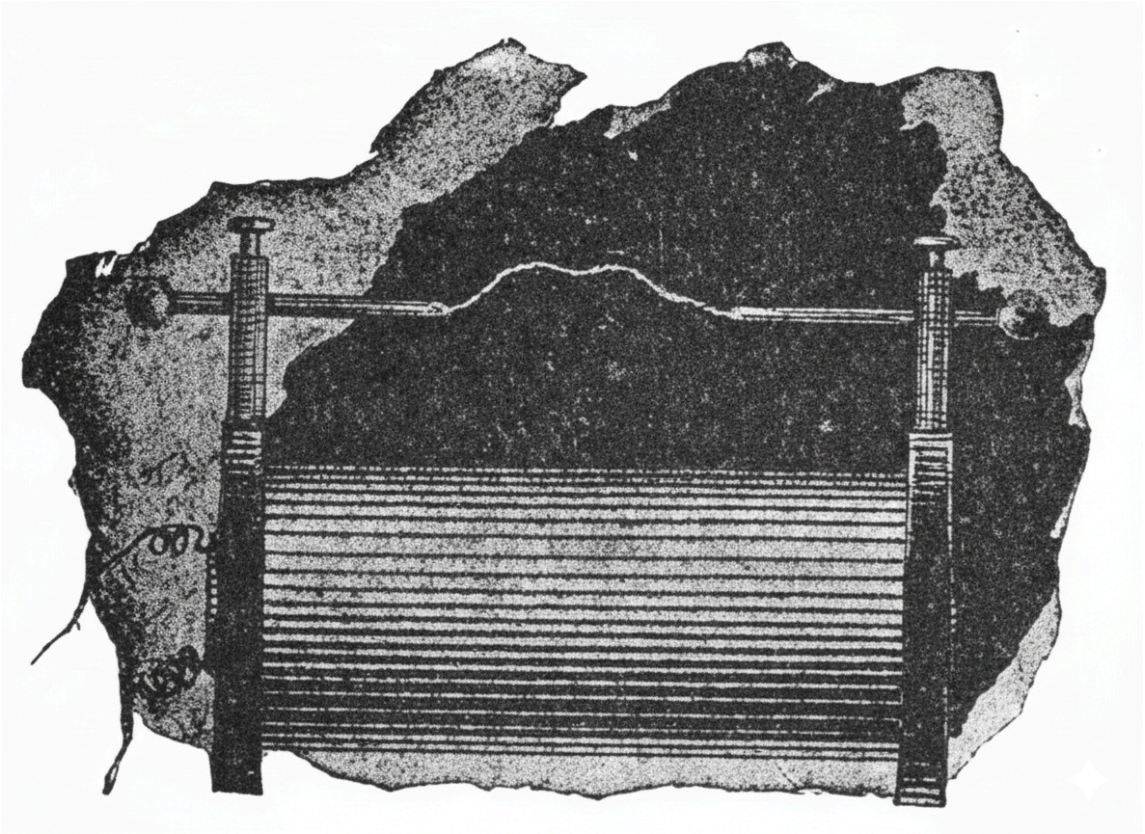


Fig. 100a

Primero, se puede observar una descarga débil y sensible en forma de un hilo delgado y de color débil (Fig. 100a). Siempre ocurre cuando, siendo alto el número de alternancias por segundo, la corriente a través del primario es muy pequeña. A pesar de la corriente excesivamente pequeña, la tasa de cambio es grande, y la diferencia de potencial en los terminales del secundario es por lo tanto considerable, de modo que el arco se establece a grandes distancias; pero la cantidad de "electricidad" puesta en movimiento es insignificante, apenas suficiente para mantener un arco delgado y filiforme. Es excesivamente sensible y puede hacerse a tal grado que el mero acto de respirar cerca de la bobina lo afectará, y a menos que esté perfectamente protegido de las corrientes de aire, se retuerce constantemente. Sin embargo, en esta forma es excesivamente persistente, y cuando los terminales se aproximan a, digamos, un tercio de la distancia de ruptura, solo puede apagarse con dificultad mediante un soplo. Esta persistencia excepcional, cuando es corto, se debe en gran medida a que el arco es excesivamente delgado, presentando, por lo tanto, una superficie muy pequeña al soplo. Su gran sensibilidad, cuando es muy largo, se debe probablemente al movimiento de las partículas de polvo suspendidas en el aire.

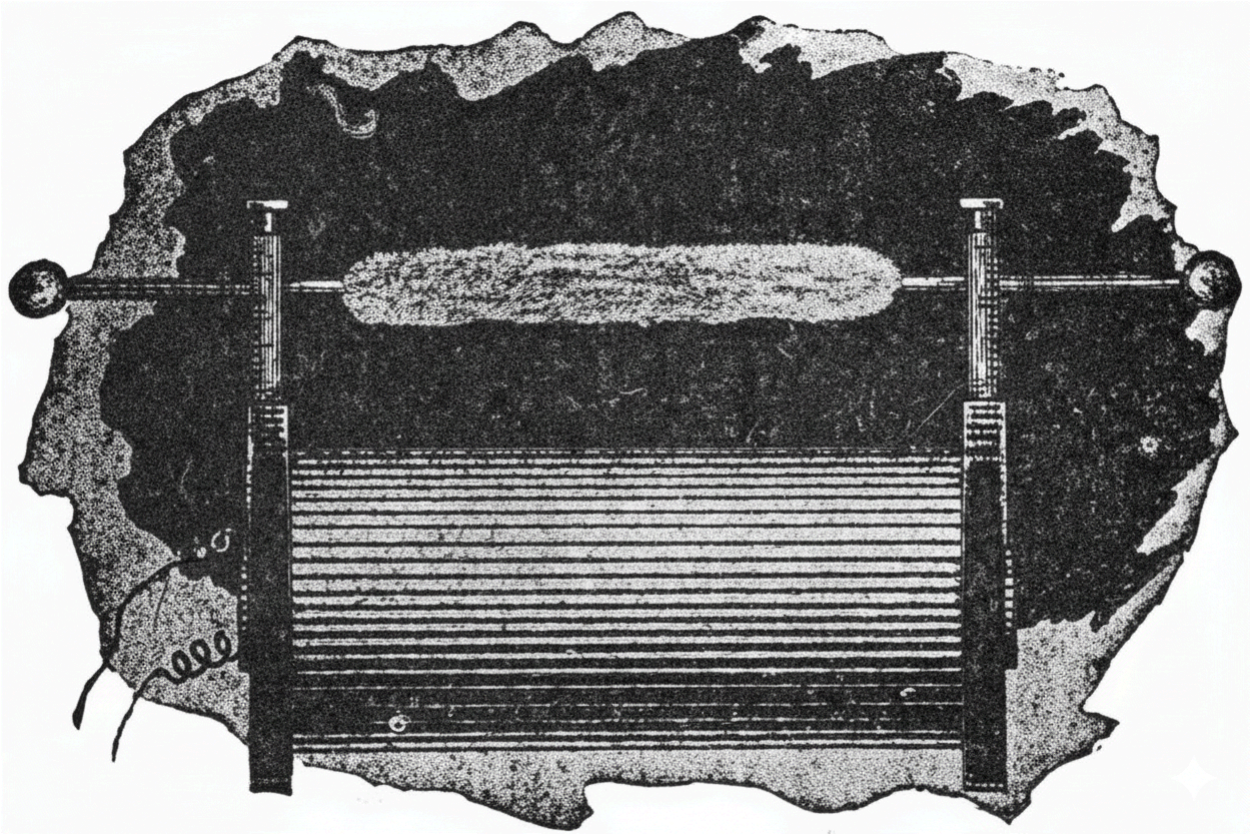


Fig. 100b

Cuando se aumenta la corriente a través del primario, la descarga se vuelve más ancha y fuerte, y el efecto de la capacidad de la bobina se hace visible hasta que, finalmente, bajo condiciones adecuadas, se produce un arco llameante y blanco, Fig. 100b, a menudo tan grueso como un dedo, que salta a través de toda la bobina. Desarrolla un calor notable, y puede caracterizarse además por la ausencia de la nota aguda que acompaña a las descargas menos potentes. Recibir una descarga de la bobina en estas condiciones no sería aconsejable, aunque bajo diferentes condiciones, siendo el potencial mucho mayor, se puede recibir una descarga de la bobina con impunidad. Para producir este tipo de descarga, el número de alternancias por segundo no debe ser demasiado grande para la bobina utilizada; y, en términos generales, se deben observar ciertas relaciones entre capacidad, autoinducción y frecuencia.

La importancia de estos elementos en un circuito de corriente alterna es ahora bien conocida, y bajo condiciones ordinarias, las reglas generales son aplicables. Pero en una bobina de inducción prevalecen condiciones excepcionales. Primero, la autoinducción tiene poca importancia antes de que se establezca el arco, momento en el que se hace valer, pero quizás nunca tan prominentemente como en los circuitos de corriente alterna ordinarios, porque la capacidad está distribuida a lo largo de toda la bobina, y debido al hecho de que la bobina generalmente se descarga a través de resistencias muy grandes; de ahí que las corrientes sean excepcionalmente pequeñas. En segundo lugar, la capacidad aumenta

continuamente a medida que aumenta el potencial, como consecuencia de la absorción que tiene lugar en gran medida. Debido a esto, no existe una relación crítica entre estas cantidades, y las reglas ordinarias no parecerían ser aplicables. A medida que el potencial se incrementa, ya sea como consecuencia del aumento de la frecuencia o del aumento de la corriente a través del primario, la cantidad de energía almacenada se vuelve cada vez mayor, y la capacidad gana cada vez más importancia. Hasta cierto punto, la capacidad es beneficiosa, pero después de eso comienza a ser un enorme inconveniente. De esto se deduce que cada bobina da el mejor resultado con una frecuencia y una corriente primaria dadas. Una bobina muy grande, cuando se opera con corrientes de muy alta frecuencia, puede no dar ni siquiera una chispa de 1/8 de pulgada. Al añadir capacidad a los terminales, la condición puede mejorar, pero lo que la bobina realmente necesita es una frecuencia más baja.

Cuando se produce la descarga llameante, las condiciones son evidentemente tales que la mayor corriente fluye a través del circuito. Estas condiciones pueden alcanzarse variando la frecuencia dentro de amplios límites, pero la frecuencia más alta a la que aún se puede producir el arco llameante determina, para una corriente primaria dada, la distancia máxima de ruptura de la bobina. En la descarga llameante, el efecto notable de la capacidad no es perceptible; la tasa a la que se almacena la energía es entonces exactamente igual a la tasa a la que puede ser disipada a través del circuito. Este tipo de descarga es la prueba más severa para una bobina; la ruptura, cuando ocurre, es de la naturaleza de la que se produce en una botella de Leyden sobrecargada. Para dar una aproximación burda, diría que, con una bobina ordinaria de, digamos, 10.000 ohmios de resistencia, el arco más potente se produciría con unas 12.000 alternancias por segundo.

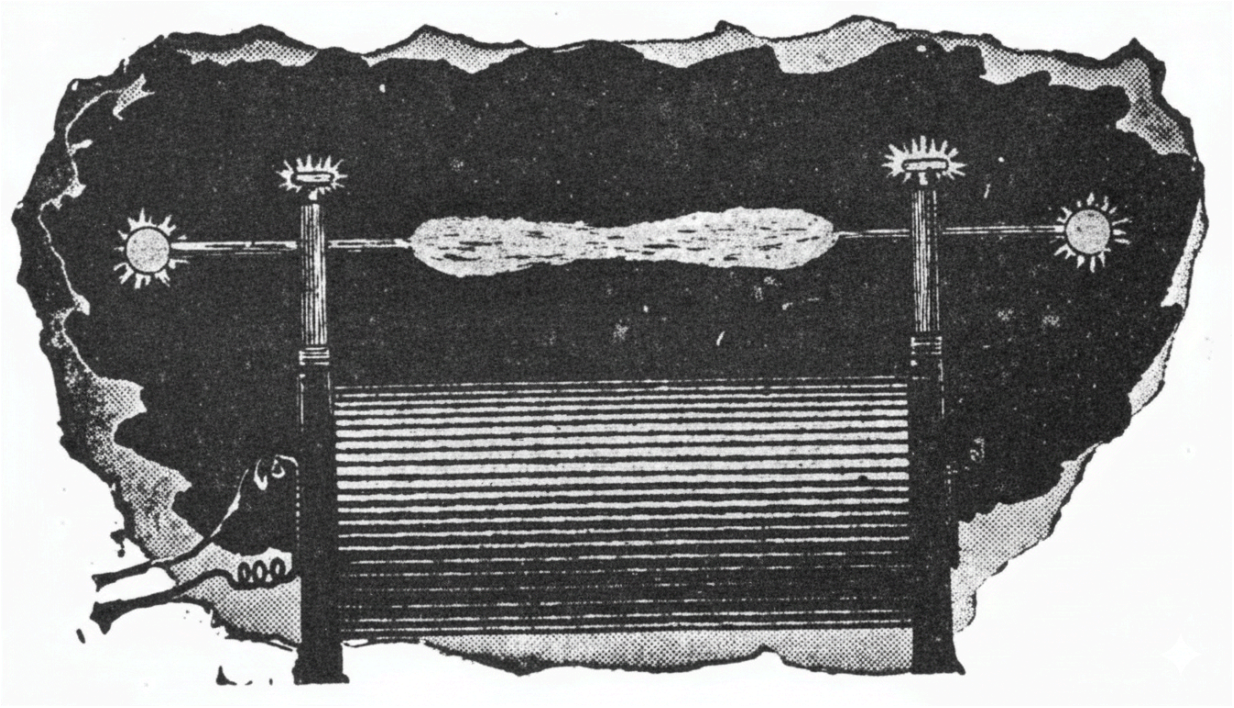


Fig. 101

Cuando la frecuencia se aumenta más allá de esa tasa, el potencial, por supuesto, aumenta, pero la distancia de ruptura puede, sin embargo, disminuir, por paradójico que parezca. A medida que el potencial aumenta, la bobina adquiere cada vez más las propiedades de una máquina estática hasta que, finalmente, se puede observar el hermoso fenómeno de la descarga en forma de chorro (streaming discharge), Fig. 101, que puede producirse a lo largo de toda la bobina. En esa etapa, los chorros comienzan a salir libremente de todos los puntos y proyecciones. También se verán estos chorros pasar en abundancia en el espacio entre el primario y el tubo aislante. Cuando el potencial es excesivamente alto, siempre aparecerán; incluso si la frecuencia es baja, e incluso si el primario está rodeado por hasta una pulgada de cera, caucho duro, vidrio o cualquier otra sustancia aislante. Esto limita en gran medida la potencia de salida de la bobina, pero más adelante mostraré cómo he logrado superar en gran medida esta desventaja en la bobina ordinaria.

Además del potencial, la intensidad de los chorros depende de la frecuencia; pero si la bobina es muy grande, se manifiestan, sin importar cuán bajas sean las frecuencias utilizadas. Por ejemplo, en una bobina muy grande de una resistencia de 67,000 ohmios, construida por mí hace algún tiempo, aparecen con tan solo 100 alternancias por segundo y menos, siendo el aislamiento del secundario de 3/4 de pulgada de ebonita. Cuando son muy intensos, producen un ruido similar al producido por la carga de una máquina de Holtz, pero mucho más potente, y emiten un fuerte olor a ozono. Cuanto más baja es la frecuencia, más propensos son a dañar repentinamente la bobina. Con frecuencias excesivamente altas pueden pasar libremente sin producir otro efecto que calentar el aislamiento lenta y uniformemente.

La existencia de estos chorros muestra la importancia de construir una bobina costosa de manera que permita ver a través del tubo que rodea el primario, y este

último debe ser fácilmente intercambiable; o si no, el espacio entre el primario y el secundario debe llenarse completamente con material aislante para excluir todo el aire. La no observancia de esta simple regla en la construcción de bobinas comerciales es responsable de la destrucción de muchas bobinas costosas.

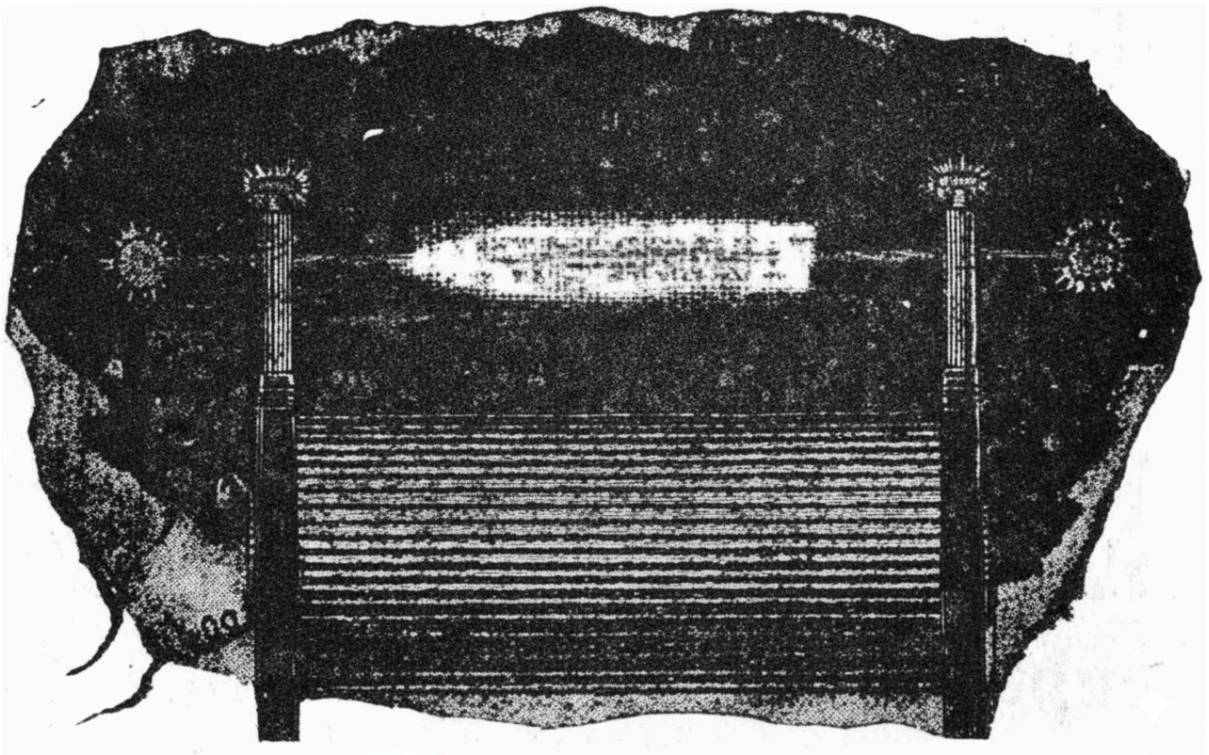


Fig. 102

En la etapa en que se produce la descarga en forma de chorro, o con frecuencias algo más altas, se puede, acercando bastante los terminales y regulando adecuadamente el efecto de la capacidad, producir un verdadero rocío de pequeñas chispas de color blanco plateado, o un manojo de hilos plateados excesivamente delgados (Fig. 102) en medio de un potente cepillo (brush), correspondiendo posiblemente cada chispa o hilo a una alternancia. Esto, cuando se produce en condiciones adecuadas, es probablemente la descarga más hermosa, y cuando se dirige una ráfaga de aire contra ella, presenta una apariencia singular. El rocío de chispas, cuando se recibe a través del cuerpo, causa alguna molestia, mientras que, cuando la descarga simplemente fluye en chorro, es probable que no se sienta nada en absoluto si se sostienen en las manos objetos conductores grandes para protegerlas de recibir pequeñas quemaduras.

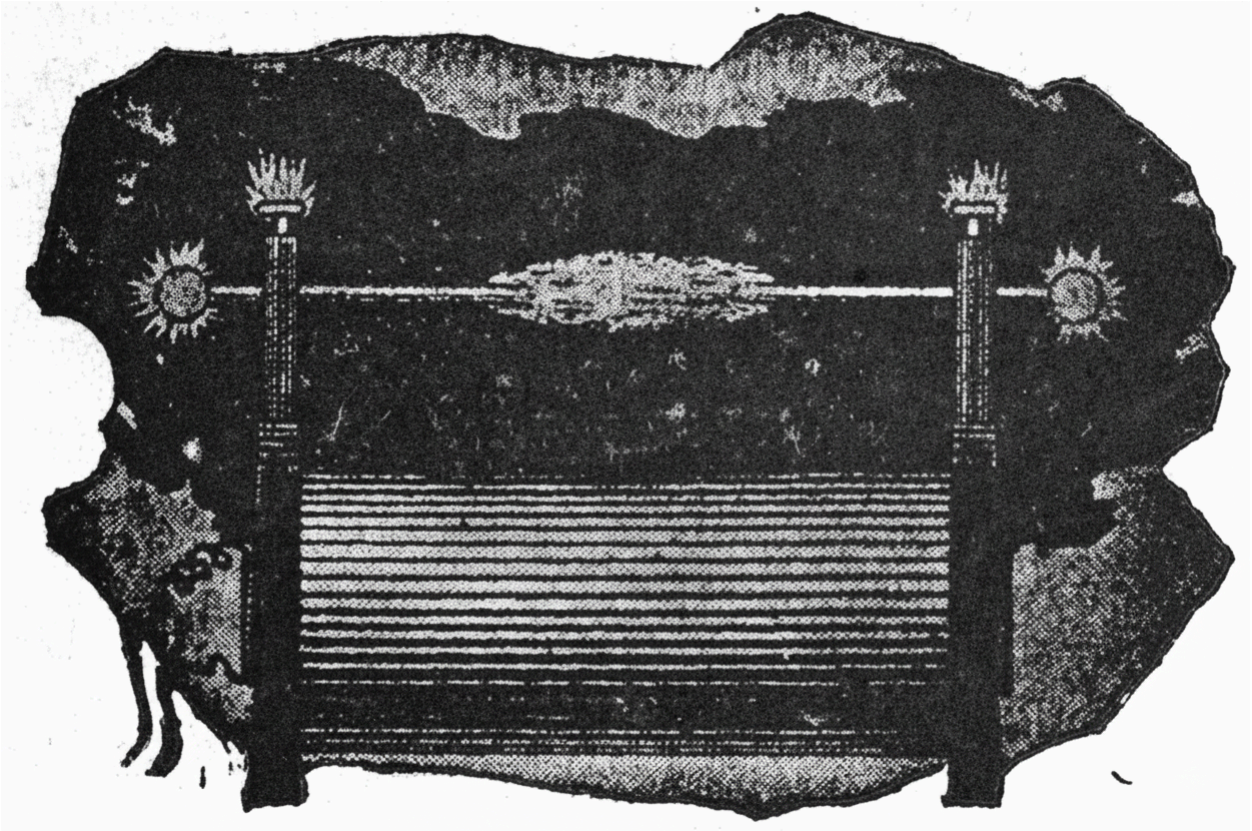


Fig. 103

Si la frecuencia se aumenta aún más, la bobina se niega a dar chispa alguna a menos que sea a distancias comparativamente pequeñas, y se puede observar la quinta forma típica de descarga (Fig. 103). La tendencia a salir en chorro y disiparse es entonces tan grande que cuando se produce el cepillo en un terminal no ocurre chispa alguna; incluso si, como he intentado repetidamente, se sostiene la mano, o cualquier objeto conductor, dentro del chorro; y, lo que es más singular, el chorro luminoso no se desvía en absoluto fácilmente por la aproximación de un cuerpo conductor.

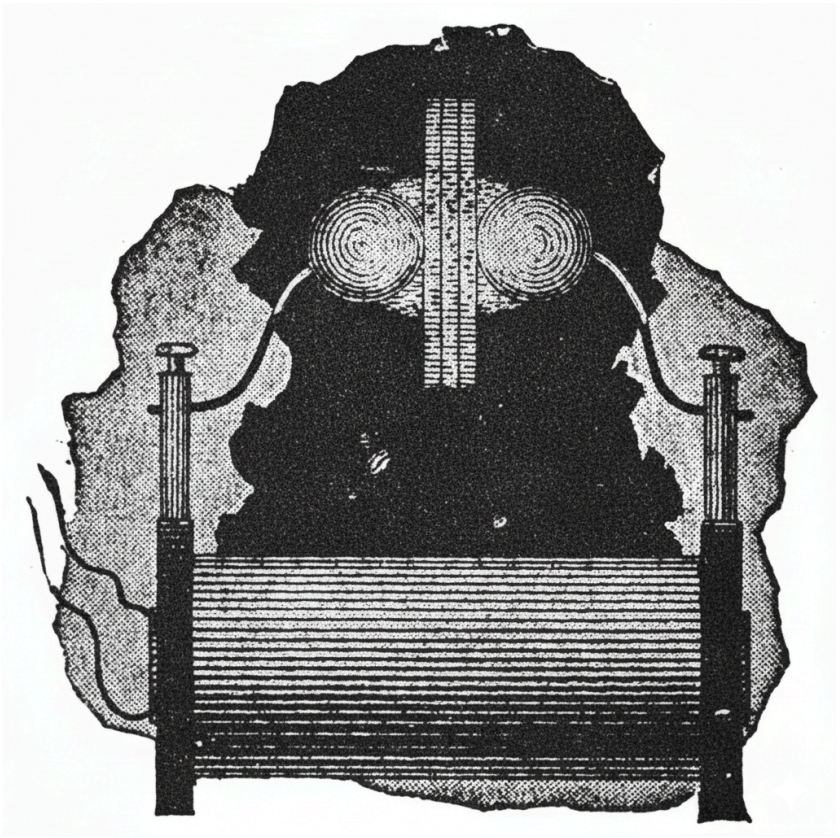


Fig. 104

En esta etapa, los chorros aparentemente pasan con la mayor libertad a través de considerables espesores de aislantes, y es particularmente interesante estudiar su comportamiento. Para este propósito es conveniente conectar a los terminales de la bobina dos esferas metálicas que pueden colocarse a cualquier distancia deseada, Fig. 104. Las esferas son preferibles a las placas, ya que la descarga se puede observar mejor. Al insertar cuerpos dieléctricos entre las esferas, se pueden observar hermosos fenómenos de descarga. Si las esferas están bastante cerca y la chispa salta entre ellas, al interponer una delgada placa de ebonita entre las esferas, la chispa cesa instantáneamente y la descarga se extiende en un círculo intensamente luminoso de varias pulgadas de diámetro, siempre que las esferas sean suficientemente grandes. El paso de los chorros calienta y, después de un tiempo, ablanda tanto la goma que dos placas pueden hacerse pegar de esta manera. Si las esferas están tan separadas que no ocurre chispa, incluso si están mucho más allá de la distancia de ruptura, al insertar una placa gruesa de vidrio, la descarga es inducida instantáneamente a pasar de las esferas al vidrio en forma de chorros luminosos. Parece casi como si estos chorros pasaran a través del dieléctrico. En realidad, este no es el caso, ya que los chorros se deben a las moléculas del aire que son violentamente agitadas en el espacio entre las superficies de carga opuesta de las esferas. Cuando no hay otro dieléctrico presente que el aire, el bombardeo continúa, pero es demasiado débil para ser visible; al insertar un dieléctrico, el efecto inductivo aumenta mucho, y además, las moléculas de aire proyectadas encuentran un obstáculo y el bombardeo se vuelve tan intenso

que los chorros se vuelven luminosos. Si por algún medio mecánico pudiéramos efectuar una agitación tan violenta de las moléculas, podríamos producir el mismo fenómeno. Un chorro de aire que escapa a través de un pequeño orificio bajo una presión enorme y choca contra una sustancia aislante, como el vidrio, puede ser luminoso en la oscuridad, y podría ser posible producir una fosforescencia del vidrio u otros aislantes de esta manera.

Cuanto mayor es la capacidad inductiva específica del dieléctrico interpuesto, más potente es el efecto producido. Debido a esto, los chorros se manifiestan con potenciales excesivamente altos incluso si el vidrio tiene un espesor de una y media a dos pulgadas. Pero además del calentamiento debido al bombardeo, sin duda se produce algo de calentamiento en el dieléctrico, siendo aparentemente mayor en el vidrio que en la ebonita. Atribuyo esto a la mayor capacidad inductiva específica del vidrio, como consecuencia de lo cual, con la misma diferencia de potencial, se absorbe en él una mayor cantidad de energía que en el caucho. Es como conectar a una batería un alambre de cobre y uno de latón de las mismas dimensiones. El alambre de cobre, aunque es un conductor más perfecto, se calentaría más debido a que toma más corriente. Así, lo que de otro modo se considera una virtud del vidrio, aquí es un defecto. El vidrio generalmente cede mucho más rápido que la ebonita; cuando se calienta hasta cierto grado, la descarga repentinamente rompe en un punto, asumiendo entonces la forma ordinaria de un arco.

El efecto de calentamiento producido por el bombardeo molecular del dieléctrico, por supuesto, disminuiría a medida que aumentara la presión del aire, y a presiones enormes sería insignificante, a menos que la frecuencia aumentara correspondientemente.

Se observará a menudo en estos experimentos que cuando las esferas están más allá de la distancia de ruptura, la aproximación de una placa de vidrio, por ejemplo, puede inducir a la chispa a saltar entre las esferas. Esto ocurre cuando la capacidad de las esferas está algo por debajo del valor crítico que da la mayor diferencia de potencial en los terminales de la bobina. Al acercar un dieléctrico, se aumenta la capacidad inductiva específica del espacio entre las esferas, produciendo el mismo efecto que si se aumentara la capacidad de las esferas. El potencial en los terminales puede entonces elevarse tanto que el espacio de aire se rompe. El experimento se realiza mejor con vidrio denso o mica.

Otra observación interesante es que una placa de material aislante, cuando la descarga pasa a través de ella, es fuertemente atraída por cualquiera de las esferas, es decir, por la más cercana, lo que obviamente se debe al menor efecto mecánico del bombardeo en ese lado, y quizás también a la mayor electrificación.

Del comportamiento de los dieléctricos en estos experimentos, podemos concluir que el mejor aislante para estas corrientes alternas rápidas sería el que posea la menor capacidad inductiva específica y al mismo tiempo sea capaz de soportar las mayores diferencias de potencial; y así se indican dos formas diametralmente opuestas de asegurar el aislamiento requerido, a saber, usar o bien un vacío perfecto o un gas a gran presión; pero el primero sería preferible.

Desafortunadamente, ninguna de estas dos formas es fácil de llevar a cabo en la práctica.

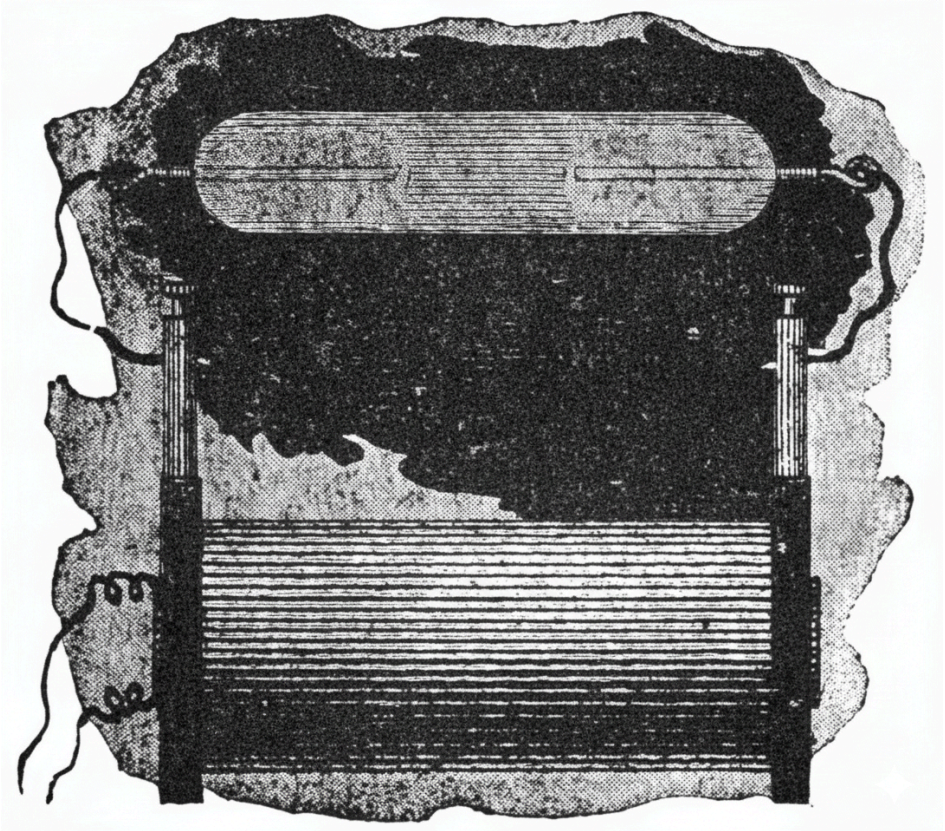


Fig. 105

Es especialmente interesante notar el comportamiento de un vacío excesivamente alto en estos experimentos. Si un tubo de ensayo, provisto de electrodos externos y vaciado al mayor grado posible, se conecta a los terminales de la bobina, Fig. 105, los electrodos del tubo se llevan instantáneamente a una alta temperatura y el vidrio en cada extremo del tubo se vuelve intensamente fosforescente, pero el centro aparece comparativamente oscuro, y por un tiempo permanece frío.

Cuando la frecuencia es tan alta que se observa la descarga mostrada en la Fig. 103, sin duda ocurre una considerable disipación en la bobina. Sin embargo, la bobina puede funcionar durante mucho tiempo, ya que el calentamiento es gradual.

A pesar de que la diferencia de potencial puede ser enorme, se siente poco cuando la descarga pasa a través del cuerpo, siempre que las manos estén armadas. Esto se debe en cierta medida a la mayor frecuencia, pero principalmente al hecho de que hay menos energía disponible externamente cuando la diferencia de potencial alcanza un valor enorme, debido a la circunstancia de que, con el aumento del potencial, la energía absorbida en la bobina aumenta como el cuadrado del potencial. Hasta cierto punto, la energía disponible externamente aumenta con el aumento del potencial, luego comienza a disminuir rápidamente. Así, con la bobina de inducción de alta tensión ordinaria, existe la curiosa paradoja de que, mientras que con una corriente dada a través del primario la descarga podría ser fatal, con

muchas veces esa corriente podría ser perfectamente inofensiva, incluso si la frecuencia es la misma. Con altas frecuencias y potenciales excesivamente altos, cuando los terminales no están conectados a cuerpos de cierto tamaño, prácticamente toda la energía suministrada al primario es absorbida por la bobina. No hay ruptura, ni daño local, sino que todo el material, aislante y conductor, se calienta uniformemente.

Para evitar malentendidos con respecto al efecto fisiológico de las corrientes alternas de muy alta frecuencia, creo necesario afirmar que, si bien es un hecho innegable que son incomparablemente menos peligrosas que las corrientes de bajas frecuencias, no se debe pensar que son totalmente inofensivas. Lo que se acaba de decir se refiere únicamente a las corrientes de una bobina de inducción de alta tensión ordinaria, corrientes que son necesariamente muy pequeñas; si se reciben directamente de una máquina o de un secundario de baja resistencia, producen efectos más o menos potentes y pueden causar lesiones graves, especialmente cuando se utilizan junto con condensadores.

La descarga en forma de chorro de una bobina de inducción de alta tensión difiere en muchos aspectos de la de una potente máquina estática. En color no tiene ni el violeta de la descarga estática positiva, ni el brillo de la negativa, sino que se encuentra en un punto intermedio, siendo, por supuesto, alternativamente positiva y negativa. Pero como el chorro es más potente cuando el punto o terminal está electrificado positivamente que cuando está electrificado negativamente, se deduce que la punta del cepillo es más parecida a la descarga estática positiva, y la raíz más parecida a la negativa. En la oscuridad, cuando el cepillo es muy potente, la raíz puede parecer casi blanca. El viento producido por los chorros que escapan, aunque puede ser muy fuerte —a menudo, de hecho, hasta el punto de que se puede sentir a bastante distancia de la bobina— es, sin embargo, considerando la cantidad de la descarga, menor que el producido por el cepillo positivo de una máquina estática, y afecta a la llama mucho menos potentemente. Por la naturaleza del fenómeno podemos concluir que cuanto mayor sea la frecuencia, menor debe ser, por supuesto, el viento producido por los chorros, y con frecuencias suficientemente altas no se produciría viento alguno a las presiones atmosféricas ordinarias.

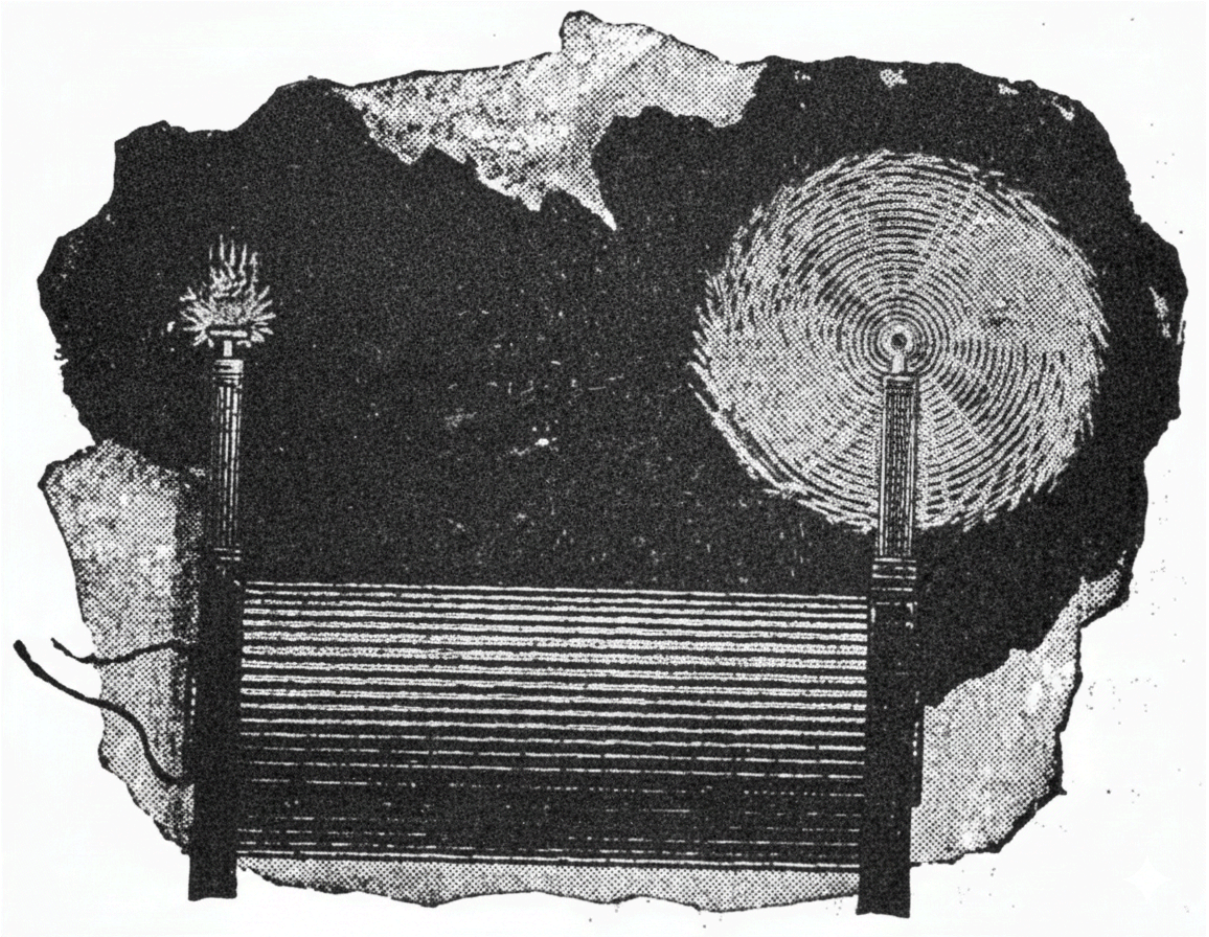


Fig. 106

Con frecuencias obtenibles por medio de una máquina, el efecto mecánico es suficientemente grande para hacer girar, con considerable velocidad, grandes molinillos, que en la oscuridad presentan una apariencia hermosa debido a la abundancia de los chorros (Fig. 106).

En general, la mayoría de los experimentos que se realizan habitualmente con una máquina estática pueden realizarse con una bobina de inducción cuando se opera con corrientes alternas muy rápidas. Los efectos producidos, sin embargo, son mucho más sorprendentes, siendo de una potencia incomparablemente mayor.

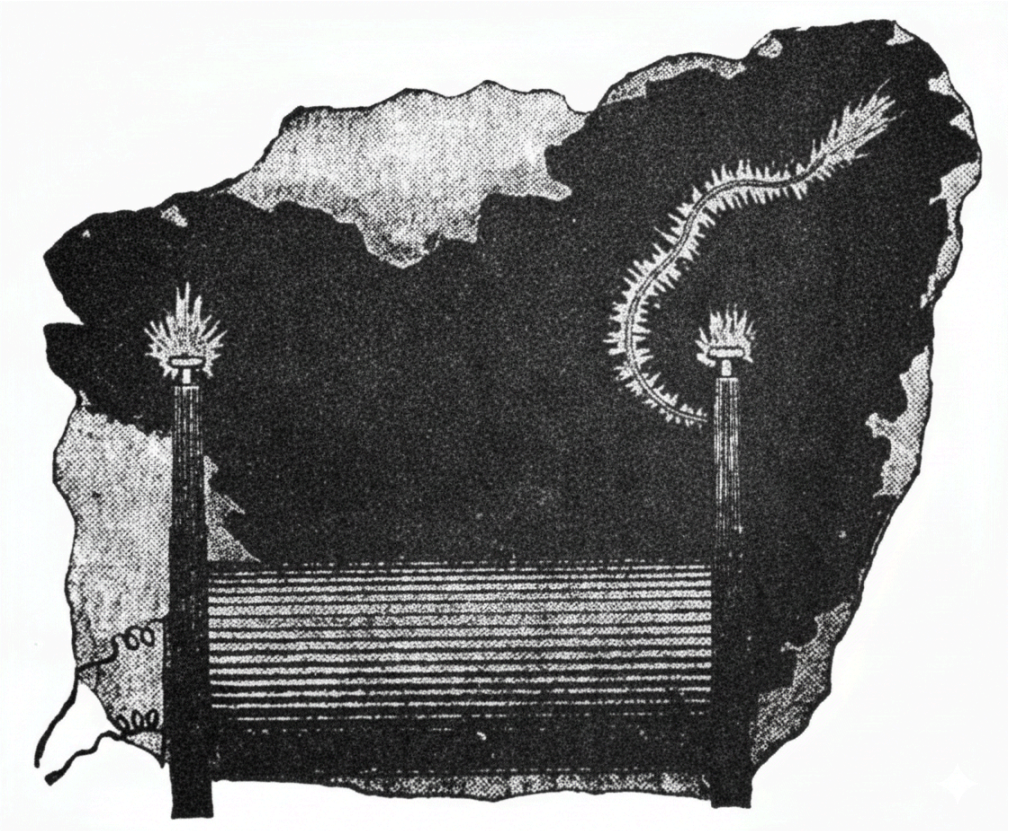


Fig. 107

Cuando un pequeño trozo de alambre ordinario recubierto de algodón, (Fig. 107), se conecta a un terminal de la bobina, los chorros que salen de todos los puntos del alambre pueden ser tan intensos como para producir un considerable efecto luminoso. Cuando los potenciales y las frecuencias son muy altos, un alambre aislado con gutapercha o caucho y conectado a uno de los terminales, parece estar cubierto por una película luminosa.

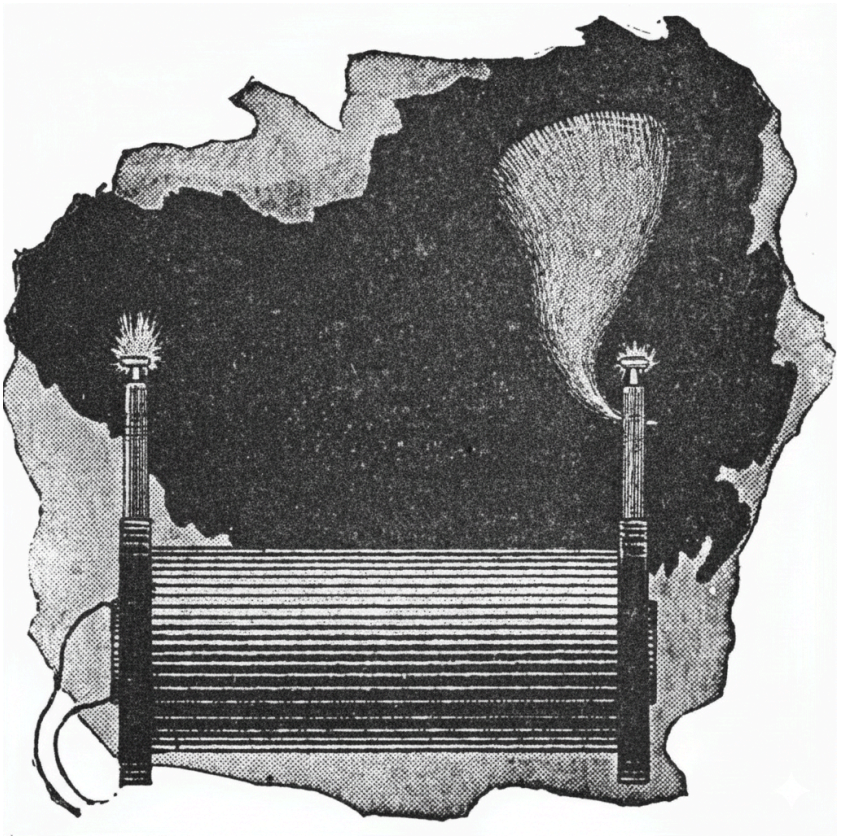


Fig. 108

Un alambre desnudo muy delgado, cuando se conecta a un terminal, emite potentes chorros y vibra continuamente de un lado a otro o gira en círculo, produciendo un efecto singular (Fig. 108). Algunos de estos experimentos los he descrito en The Electrical World, del 21 de febrero de 1891.

Otra peculiaridad de la descarga rápidamente alterna de la bobina de inducción es su comportamiento radicalmente diferente con respecto a las puntas y las superficies redondeadas.

Si un alambre grueso, provisto de una bola en un extremo y de una punta en el otro, se conecta al terminal positivo de una máquina estática, prácticamente toda la carga se perderá a través de la punta, debido a la tensión enormemente mayor, que depende del radio de curvatura.

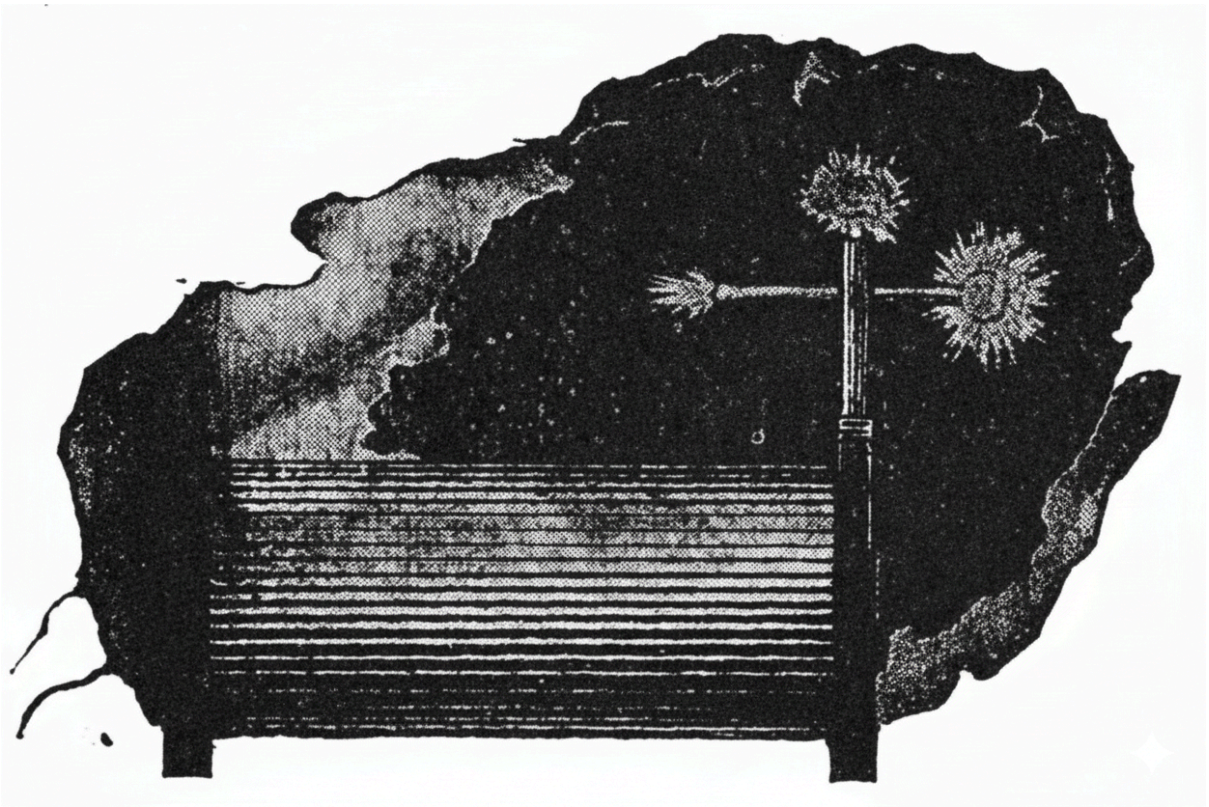


Fig. 109

Pero si tal alambre se conecta a uno de los terminales de la bobina de inducción, se observará que con frecuencias muy altas los chorros salen de la bola casi tan copiosamente como de la punta (Fig. 109).

Es difícilmente concebible que pudiéramos producir tal condición en igual grado en una máquina estática, por la sencilla razón de que la tensión aumenta como el cuadrado de la densidad, que a su vez es proporcional al radio de curvatura; por lo tanto, con un potencial constante se requeriría una carga enorme para hacer que los chorros salgan de una bola pulida mientras está conectada con una punta. Pero con una bobina de inducción cuya descarga alterna con gran rapidez, es diferente. Aquí tenemos que tratar con dos tendencias distintas. Primero, está la tendencia a escapar que existe en estado de reposo, y que depende del radio de curvatura; segundo, está la tendencia a disiparse en el aire circundante por acción de condensador, que depende de la superficie. Cuando una de estas tendencias está en su máximo, la otra está en su mínimo. En la punta, el chorro luminoso se debe principalmente a las moléculas de aire que entran en contacto físico con la punta; son atraídas y repelidas, cargadas y descargadas, y, al ser así perturbadas sus cargas atómicas, vibran y emiten ondas de luz. En la bola, por el contrario, no hay duda de que el efecto se produce en gran medida inductivamente, no siendo necesario que las moléculas de aire entren en contacto con la bola, aunque indudablemente lo hacen. Para convencernos de esto solo necesitamos exaltar la acción del condensador, por ejemplo, envolviendo la bola, a cierta distancia, con un conductor mejor que el medio circundante, siendo el conductor, por supuesto,

aislado; o bien rodeándola con un dieléctrico mejor y acercando un conductor aislado; en ambos casos los chorros brotarán más copiosamente. Además, cuanto más grande sea la bola con una frecuencia dada, o cuanto mayor sea la frecuencia, más ventaja tendrá la bola sobre la punta. Pero, como se requiere una cierta intensidad de acción para hacer visibles los chorros, es obvio que en el experimento descrito la bola no debe tomarse demasiado grande.

Como consecuencia de esta doble tendencia, es posible producir por medio de puntas efectos idénticos a los producidos por la capacidad. Así, por ejemplo, conectando a un terminal de la bobina un pequeño trozo de alambre deshilachado, que presenta muchas puntas y ofrece gran facilidad para escapar, el potencial de la bobina puede elevarse al mismo valor que conectando al terminal una bola pulida de una superficie muchas veces mayor que la del alambre.

Un experimento interesante, que muestra el efecto de las puntas, puede realizarse de la siguiente manera: Conecte a uno de los terminales de la bobina un alambre recubierto de algodón de unos dos pies de longitud, y ajuste las condiciones para que salgan chorros del alambre. En este experimento, la bobina primaria debe colocarse preferiblemente de modo que se extienda solo hasta la mitad de la bobina secundaria. Ahora toque el terminal libre del secundario con un objeto conductor sostenido en la mano, o conéctelo a un cuerpo aislado de cierto tamaño. De esta manera, el potencial en el alambre puede elevarse enormemente. El efecto de esto será aumentar o disminuir los chorros: si aumentan, el alambre es demasiado corto; si disminuyen, es demasiado largo. Ajustando la longitud del alambre, se encuentra un punto en el que tocar el otro terminal no afecta en absoluto a los chorros. En este caso, el aumento de potencial es exactamente contrarrestado por la caída a través de la bobina. Se observará que pequeñas longitudes de alambre producen una considerable diferencia en la magnitud y luminosidad de los chorros. La bobina primaria se coloca de lado por dos razones: primero, para aumentar el potencial en el alambre; y segundo, para aumentar la caída a través de la bobina. La sensibilidad se aumenta así.

Todavía hay otra y mucho más sorprendente peculiaridad de la descarga en forma de cepillo producida por corrientes alternas muy rápidas. Para observar esto, es mejor reemplazar los terminales habituales de la bobina por dos columnas de metal aisladas con un buen espesor de ebonita. También es conveniente cerrar todas las fisuras y grietas con cera para que los cepillos no puedan formarse en ningún lugar excepto en la parte superior de las columnas.

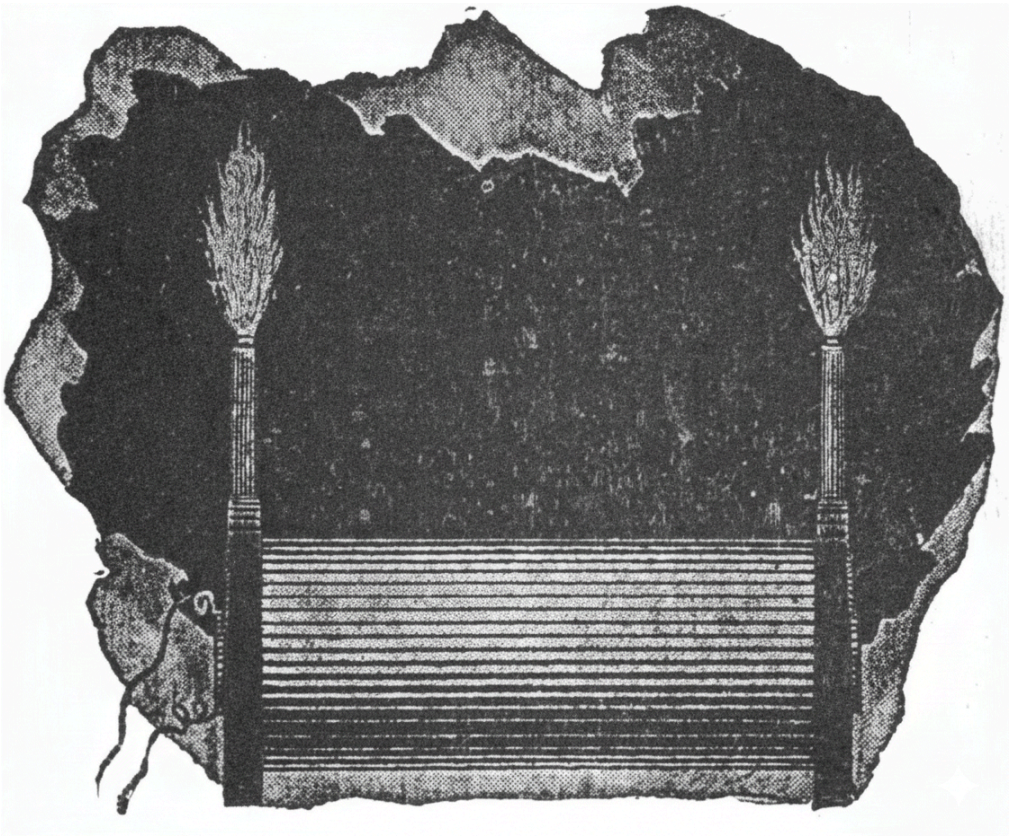


Fig. 110

Si las condiciones se ajustan cuidadosamente —lo cual, por supuesto, debe dejarse a la habilidad del experimentador— de modo que el potencial se eleve a un valor enorme, se pueden producir dos potentes cepillos de varias pulgadas de largo, casi blancos en sus raíces, que en la oscuridad guardan un sorprendente parecido con dos llamas de un gas que escapa bajo presión (Fig. 110). Pero no solo se parecen, son verdaderas llamas, porque están calientes. Ciertamente no son tan calientes como un mechero de gas, pero lo serían si la frecuencia y el potencial fueran suficientemente altos. Producidos con, digamos, veinte mil alternancias por segundo, el calor es fácilmente perceptible incluso si el potencial no es excesivamente alto. El calor desarrollado se debe, por supuesto, al impacto de las moléculas de aire contra los terminales y entre sí. Como, a las presiones ordinarias, el recorrido libre medio es excesivamente pequeño, es posible que a pesar de la enorme velocidad inicial impartida a cada molécula al entrar en contacto con el terminal, su progreso —por colisión con otras moléculas— se retarde hasta tal punto que no se aleje mucho del terminal, sino que pueda golpearlo muchas veces seguidas. Cuanto mayor es la frecuencia, menos puede alejarse la molécula, y esto tanto más cuanto que, para un efecto dado, el potencial requerido es menor; y es concebible —quizás incluso obtenible— una frecuencia a la que prácticamente las mismas moléculas golpearían el terminal. En tales condiciones, el intercambio de moléculas sería muy lento, y el calor producido en, y muy cerca de, el terminal sería excesivo. Pero si la frecuencia continuara aumentando constantemente, el calor producido comenzaría a disminuir por razones obvias. En el cepillo positivo de una

máquina estática, el intercambio de moléculas es muy rápido, la corriente es constantemente de una dirección, y hay menos colisiones; por lo tanto, el efecto de calentamiento debe ser muy pequeño. Cualquier cosa que dificulte la facilidad de intercambio tiende a aumentar el calor local producido. Así, si se sostiene una bombilla sobre el terminal de la bobina de modo que encierre el cepillo, el aire contenido en la bombilla se lleva muy rápidamente a una alta temperatura. Si se sostiene un tubo de vidrio sobre el cepillo de modo que la corriente de aire lleve el cepillo hacia arriba, aire abrasadoramente caliente escapa por la parte superior del tubo. Cualquier cosa que se sostenga dentro del cepillo se calienta, por supuesto, rápidamente, y se sugiere la posibilidad de utilizar tales efectos de calentamiento para algún propósito u otro.

Al contemplar este singular fenómeno del cepillo caliente, no podemos evitar estar convencidos de que un proceso similar debe tener lugar en la llama ordinaria, y parece extraño que, después de todos estos siglos de familiaridad con la llama, ahora, en esta era de iluminación y calefacción eléctrica, finalmente seamos llevados a reconocer que, desde tiempo inmemorial, después de todo, siempre hemos tenido "luz y calor eléctricos" a nuestra disposición. También es de no poco interés contemplar que tenemos una posible manera de producir —por medios distintos a los químicos— una verdadera llama, que daría luz y calor sin consumir ningún material, sin que tenga lugar ningún proceso químico, y para lograr esto, solo necesitamos perfeccionar los métodos para producir enormes frecuencias y potenciales. No tengo duda de que si el potencial pudiera hacerse alternar con suficiente rapidez y potencia, el cepillo formado en el extremo de un alambre perdería sus características eléctricas y se volvería similar a una llama. La llama debe deberse a la acción molecular electrostática.

Este fenómeno explica ahora, de una manera que difícilmente puede dudarse, los frecuentes accidentes que ocurren en las tormentas. Es bien sabido que a menudo los objetos se incendian sin que les caiga un rayo. Veremos en seguida cómo puede ocurrir esto. En un clavo de un tejado, por ejemplo, o en una proyección de cualquier tipo, más o menos conductora, o que se ha vuelto así por la humedad, puede aparecer un potente cepillo. Si el rayo cae en algún lugar cercano, el enorme potencial puede hacerse alternar o fluctuar quizás muchos millones de veces por segundo. Las moléculas de aire son violentamente atraídas y repelidas, y por su impacto producen un efecto de calentamiento tan potente que se inicia un incendio. Es concebible que un barco en el mar pueda, de esta manera, incendiarse en muchos puntos a la vez. Cuando consideramos que, incluso con las frecuencias comparativamente bajas obtenidas de una máquina dinamo, y con potenciales de no más de cien o doscientos mil voltios, los efectos de calentamiento son considerables, podemos imaginar cuánto más potentes deben ser con frecuencias y potenciales muchas veces mayores; y la explicación anterior parece, por decir lo menos, muy probable. Explicaciones similares pueden haber sido sugeridas, pero no tengo conocimiento de que, hasta el presente, los efectos de calentamiento de un cepillo producido por un potencial rápidamente alterno hayan sido demostrados experimentalmente, al menos no en un grado tan notable.

Al impedir completamente el intercambio de las moléculas de aire, el efecto de calentamiento local puede exaltarse hasta el punto de llevar un cuerpo a la incandescencia. Así, por ejemplo, si un pequeño botón, o preferiblemente un alambre o filamento muy delgado, se encierra en una ampolla no evacuada y se conecta al terminal de la bobina, puede hacerse incandescente.

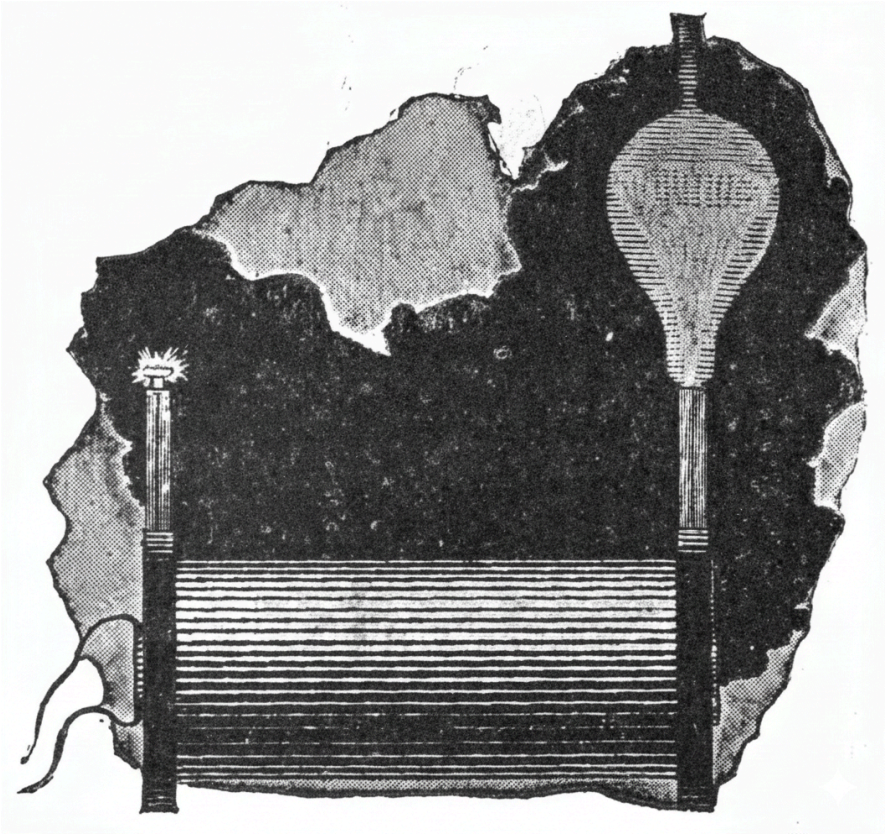


Fig. 111

El fenómeno se vuelve mucho más interesante por el rápido giro en círculo de la parte superior del filamento, presentando así la apariencia de un embudo luminoso, (Fig. 111), que se ensancha cuando se aumenta el potencial. Cuando el potencial es pequeño, el extremo del filamento puede realizar movimientos irregulares, cambiando repentinamente de uno a otro, o puede describir una elipse; pero cuando el potencial es muy alto, siempre gira en círculo; y lo mismo hace generalmente un alambre recto y delgado conectado libremente al terminal de la bobina. Estos movimientos se deben, por supuesto, al impacto de las moléculas y a la irregularidad en la distribución del potencial, debido a la rugosidad y asimetría del alambre o filamento. Con un alambre perfectamente simétrico y pulido, tales movimientos probablemente no ocurrirían. Que el movimiento no es probable que se deba a otras causas es evidente por el hecho de que no tiene una dirección definida, y que en una ampolla muy altamente evacuada cesa por completo. La posibilidad de llevar un cuerpo a la incandescencia en una ampolla evacuada, o incluso cuando no está encerrado en absoluto, parecería ofrecer una posible manera de obtener efectos luminosos que, al perfeccionar los métodos para producir potenciales rápidamente alternos, podrían hacerse disponibles para fines útiles.

Al emplear una bobina comercial, la producción de efectos de cepillo muy potentes conlleva considerables dificultades, ya que cuando se utilizan estas altas frecuencias y enormes potenciales, el mejor aislamiento es propenso a fallar. Por lo general, la bobina está suficientemente bien aislada para soportar la tensión de espira a espira, ya que dos alambres de seda doble parafinados resistirán una presión de varios miles de voltios; la dificultad radica principalmente en evitar la ruptura del secundario al primario, lo que se ve muy facilitado por los chorros que salen de este último. En la bobina, por supuesto, la tensión es mayor de sección a sección, pero generalmente en una bobina más grande hay tantas secciones que el peligro de una falla repentina no es muy grande. Generalmente no se encontrará ninguna dificultad en esa dirección, y además, la probabilidad de dañar la bobina internamente se reduce mucho por el hecho de que el efecto más probable que se produzca es simplemente un calentamiento gradual, que, cuando esté lo suficientemente avanzado, no dejaría de ser observado. La necesidad principal es entonces evitar los chorros entre el primario y el tubo, no solo por el calentamiento y el posible daño, sino también porque los chorros pueden disminuir considerablemente la diferencia de potencial disponible en los terminales. Algunos consejos sobre cómo se puede lograr esto probablemente resultarán útiles en la mayoría de estos experimentos con la bobina de inducción ordinaria.

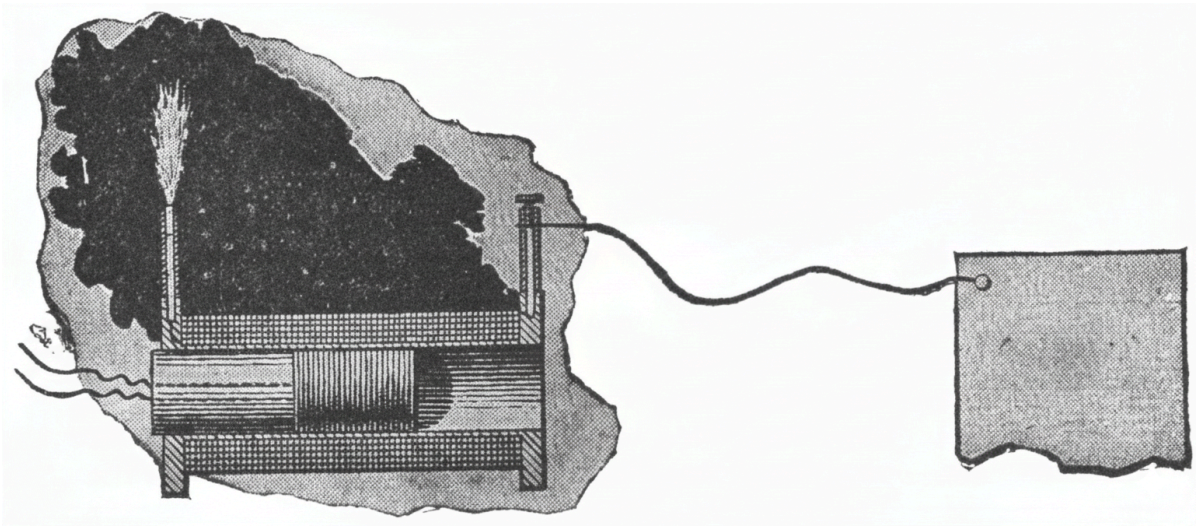


Fig. 112a

Una de las formas es bobinar un primario corto, Fig. 112a, de modo que la diferencia de potencial en esa longitud no sea lo suficientemente grande como para provocar la aparición de los chorros a través del tubo aislante. La longitud del primario debe determinarse experimentalmente. Ambos extremos de la bobina deben salir por un extremo a través de un tapón de material aislante que encaje en el tubo como se ilustra. En tal disposición, un terminal del secundario se conecta a un cuerpo, cuya superficie se determina con el mayor cuidado para producir el mayor aumento de potencial. En el otro terminal aparece un potente cepillo, sobre el cual se puede experimentar.

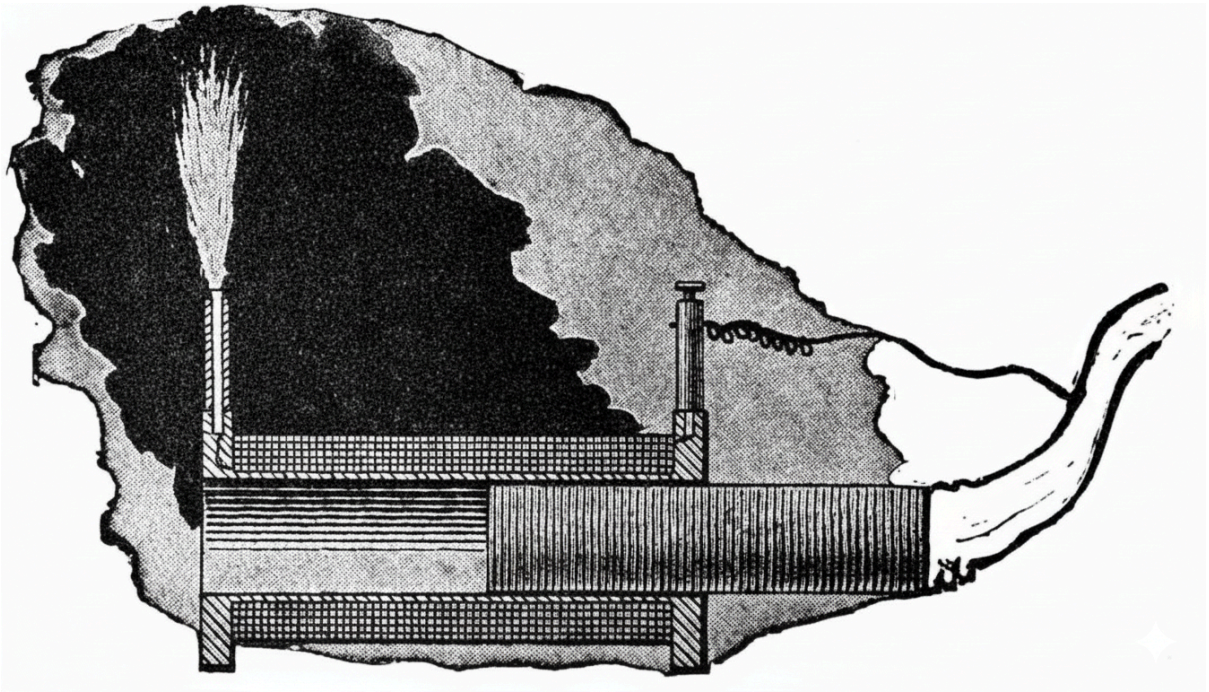


Fig. 112b

El plan anterior necesita el empleo de un primario de tamaño comparativamente pequeño, y es propenso a calentarse cuando se desean efectos potentes durante un cierto período de tiempo. En tal caso, es mejor emplear una bobina más grande, Fig. 112b, e introducirla desde un lado del tubo, hasta que los chorros comiencen a aparecer. En este caso, el terminal más cercano del secundario puede conectarse al primario o a tierra, lo que es prácticamente lo mismo, si el primario está conectado directamente a la máquina. En el caso de conexiones a tierra, es conveniente determinar experimentalmente la frecuencia que es más adecuada bajo las condiciones de la prueba. Otra forma de obviar los chorros, más o menos, es hacer el primario en secciones y alimentarlo desde fuentes separadas y bien aisladas.

En muchos de estos experimentos, cuando se desean efectos potentes por un corto tiempo, es ventajoso usar núcleos de hierro con los primarios. En tal caso, se puede bobinar una bobina primaria muy grande y colocarla al lado del secundario, y, conectando el terminal más cercano de este último al primario, se introduce un núcleo de hierro laminado a través del primario en el secundario hasta donde los chorros lo permitan. En estas condiciones, un cepillo excesivamente potente, de varias pulgadas de largo, que podría llamarse apropiadamente "fuego de San Telmo caliente", puede aparecer en el otro terminal del secundario, produciendo efectos sorprendentes. Es un ozonizador muy potente, tan potente de hecho, que solo unos pocos minutos son suficientes para llenar toda la habitación con el olor a ozono, y sin duda posee la cualidad de excitar afinidades químicas.

Para la producción de ozono, las corrientes alternas de muy alta frecuencia son eminentemente adecuadas, no solo por las ventajas que ofrecen en cuanto a la conversión, sino también por el hecho de que la acción ozonizante de una descarga depende tanto de la frecuencia como del potencial, lo que sin duda se confirma por la observación.

En estos experimentos, si se utiliza un núcleo de hierro, debe vigilarse cuidadosamente, ya que es propenso a calentarse excesivamente en un tiempo increíblemente corto. Para dar una idea de la rapidez del calentamiento, diré que, al pasar una corriente potente a través de una bobina con muchas espiras, la inserción dentro de la misma de un alambre de hierro delgado por no más de un segundo es suficiente para calentar el alambre a algo así como 100°C.

Pero este rápido calentamiento no debe desanimarnos en el uso de núcleos de hierro en conexión con corrientes rápidamente alternas. Durante mucho tiempo he estado convencido de que en la distribución industrial por medio de transformadores, algún plan como el siguiente podría ser practicable. Podemos usar un núcleo de hierro comparativamente pequeño, subdividido, o quizás ni siquiera subdividido. Podemos rodear este núcleo con un espesor considerable de material que sea a prueba de fuego y que conduzca mal el calor, y encima de eso podemos colocar los devanados primario y secundario. Usando frecuencias más altas o fuerzas magnetizantes mayores, podemos, por histéresis y corrientes de Foucault, calentar el núcleo de hierro hasta llevarlo casi a su máxima permeabilidad, que, como ha demostrado Hopkinson, puede ser hasta dieciséis veces mayor que la de temperaturas ordinarias. Si el núcleo de hierro estuviera perfectamente encerrado, no se deterioraría por el calor, y, si el recinto de material a prueba de fuego fuera suficientemente grueso, solo una cantidad limitada de energía podría irradiarse a pesar de la alta temperatura. He construido transformadores siguiendo ese plan, pero por falta de tiempo, aún no se han realizado pruebas exhaustivas.

Otra forma de adaptar el núcleo de hierro a alternancias rápidas, o, en términos generales, de reducir las pérdidas por fricción, es producir mediante una magnetización continua un flujo de algo así como siete mil u ocho mil líneas por centímetro cuadrado a través del núcleo, y luego trabajar con fuerzas magnetizantes débiles y preferiblemente altas frecuencias alrededor del punto de mayor permeabilidad. De esta manera se pueden obtener una mayor eficiencia de conversión y una mayor potencia de salida. También he empleado este principio en conexión con máquinas en las que no hay inversión de polaridad. En estos tipos de máquinas, mientras haya solo unas pocas proyecciones polares, no hay una gran ganancia, ya que los máximos y mínimos de magnetización están lejos del punto de máxima permeabilidad; pero cuando el número de proyecciones polares es muy grande, se puede obtener la tasa de cambio requerida, sin que la magnetización varíe tanto como para apartarse mucho del punto de máxima permeabilidad, y la ganancia es considerable.

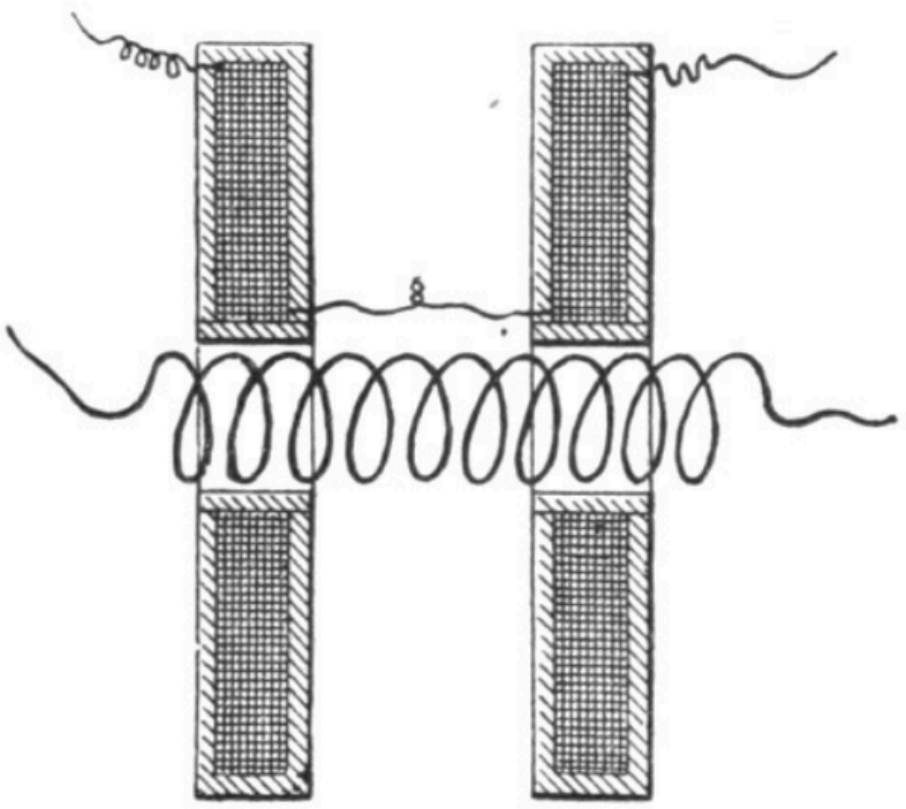


Fig. 113

Los arreglos descritos anteriormente se refieren únicamente al uso de bobinas comerciales tal como se construyen ordinariamente. Si se desea construir una bobina con el propósito expreso de realizar con ella experimentos como los que he descrito, o, en general, hacerla capaz de soportar la mayor diferencia de potencial posible, entonces una construcción como la indicada en la Fig. 113 resultará ventajosa. La bobina en este caso está formada por dos partes independientes que están bobinadas en sentido opuesto, realizándose la conexión entre ambas cerca del primario. Siendo el potencial en el medio cero, no hay mucha tendencia a saltar al primario y no se requiere mucho aislamiento. En algunos casos, sin embargo, el punto medio puede conectarse al primario o a tierra. En tal bobina, los lugares de mayor diferencia de potencial están muy separados y la bobina es capaz de soportar una tensión enorme. Las dos partes pueden ser móviles para permitir un ligero ajuste del efecto de la capacidad.

En cuanto a la manera de aislar la bobina, se encontrará conveniente proceder de la siguiente manera: Primero, el alambre debe hervirse en parafina hasta que todo el aire haya salido; luego se bobina la bobina pasando el alambre a través de parafina derretida, meramente con el propósito de fijar el alambre. Luego, la bobina se saca del carrete, se sumerge en un recipiente cilíndrico lleno de cera pura derretida y se hierve durante mucho tiempo hasta que las burbujas dejen de aparecer. A continuación, se deja enfriar todo completamente, y luego la masa se saca del recipiente y se tornea en un torno. Una bobina hecha de esta manera y con cuidado es capaz de soportar enormes diferencias de potencial.

Puede resultar conveniente sumergir la bobina en aceite de parafina o algún otro tipo de aceite; es una forma muy efectiva de aislar, principalmente por la perfecta exclusión del aire, pero puede encontrarse que, después de todo, un recipiente lleno de aceite no es algo muy conveniente de manejar en un laboratorio.

Si una bobina ordinaria puede desmontarse, se puede sacar el primario del tubo y este último taponarse en un extremo, llenarse con aceite, y reinsertar el primario. Esto proporciona un aislamiento excelente y previene la formación de los chorros.

De todos los experimentos que se pueden realizar con corrientes rápidamente alternas, los más interesantes son los que conciernen a la producción de un iluminante práctico. No se puede negar que los métodos actuales, aunque fueron avances brillantes, son muy derrochadores. Se deben inventar métodos mejores, se deben idear aparatos más perfectos. La investigación moderna ha abierto nuevas posibilidades para la producción de una fuente de luz eficiente, y la atención de todos se ha dirigido en la dirección indicada por hábiles pioneros. Muchos se han dejado llevar por el entusiasmo y la pasión de descubrir, pero en su celo por alcanzar resultados, algunos se han desviado. Partiendo de la idea de producir ondas electromagnéticas, dirigieron su atención, quizás, demasiado al estudio de los efectos electromagnéticos, y descuidaron el estudio de los fenómenos electrostáticos. Naturalmente, casi todos los investigadores se valieron de un aparato similar al utilizado en experimentos anteriores. Pero en esas formas de aparato, mientras que los efectos inductivos electromagnéticos son enormes, los efectos electrostáticos son excesivamente pequeños.

En los experimentos de Hertz, por ejemplo, una bobina de inducción de alta tensión se cortocircuita mediante un arco, cuya resistencia es muy pequeña, tanto más pequeña cuanto más capacidad se conecte a los terminales; y la diferencia de potencial en estos se reduce enormemente. Por otro lado, cuando la descarga no pasa entre los terminales, los efectos estáticos pueden ser considerables, pero solo cualitativamente, no cuantitativamente, ya que su aumento y caída son muy repentinos, y ya que su frecuencia es pequeña. En ninguno de los casos, por lo tanto, son perceptibles efectos electrostáticos potentes. Condiciones similares existen cuando, como en algunos interesantes experimentos del Dr. Lodge, se descargan disruptivamente botellas de Leyden. Se ha pensado —y creo que se ha afirmado— que en tales casos la mayor parte de la energía se irradia al espacio. A la luz de los experimentos que he descrito anteriormente, ahora no se pensará así. Me siento seguro al afirmar que en tales casos la mayor parte de la energía es en parte absorbida y convertida en calor en el arco de la descarga y en el material conductor y aislante de la botella, siendo, por supuesto, una parte de la energía cedida por la electrificación del aire; pero la cantidad de energía directamente irradiada es muy pequeña.

Cuando una bobina de inducción de alta tensión, operada por corrientes que alternan solo 20,000 veces por segundo, tiene sus terminales cerrados a través de incluso una botella muy pequeña, prácticamente toda la energía pasa a través del dieléctrico de la botella, que se calienta, y los efectos electrostáticos se manifiestan externamente solo en un grado muy débil. Ahora bien, el circuito externo de una

botella de Leyden, es decir, el arco y las conexiones de las armaduras, puede considerarse como un circuito que genera corrientes alternas de frecuencia excesivamente alta y potencial bastante alto, que se cierra a través de las armaduras y el dieléctrico entre ellas, y de lo anterior es evidente que los efectos electrostáticos externos deben ser muy pequeños, incluso si se utiliza un circuito de retroceso. Estas condiciones hacen parecer que con el aparato habitualmente disponible, la observación de efectos electrostáticos potentes era imposible, y la experiencia que se ha ganado en esa dirección solo se debe a la gran habilidad de los investigadores.

Pero los efectos electrostáticos potentes son una condición sine qua non para la producción de luz en las líneas indicadas por la teoría. Los efectos electromagnéticos son principalmente inutilizables, por la razón de que para producir los efectos requeridos tendríamos que pasar impulsos de corriente a través de un conductor, el cual, mucho antes de que se pudiera alcanzar la frecuencia requerida de los impulsos, dejaría de transmitirlos. Por otro lado, las ondas electromagnéticas muchas veces más largas que las de la luz, y producibles por la descarga repentina de un condensador, no podrían ser utilizadas, al parecer, a menos que nos valgamos de su efecto sobre los conductores como en los métodos actuales, que son derrochadores. No podríamos afectar por medio de tales ondas las cargas moleculares o atómicas estáticas de un gas, hacerlas vibrar y emitir luz. Las ondas transversales largas, aparentemente, no pueden producir tales efectos, ya que perturbaciones electromagnéticas excesivamente pequeñas pueden pasar fácilmente a través de millas de aire. Tales ondas oscuras, a menos que sean de la longitud de las verdaderas ondas de luz, no podrían, al parecer, excitar la radiación luminosa en un tubo de Geissler; y los efectos luminosos, que son producibles por inducción en un tubo desprovisto de electrodos, me inclino a considerarlos de naturaleza electrostática.

Para producir tales efectos luminosos, se requieren empujes electrostáticos directos; estos, cualquiera que sea su frecuencia, pueden perturbar las cargas moleculares y producir luz. Dado que los impulsos de corriente de la frecuencia requerida no pueden pasar a través de un conductor de dimensiones medibles, debemos trabajar con un gas, y entonces la producción de efectos electrostáticos potentes se convierte en una necesidad imperativa.

Se me ha ocurrido, sin embargo, que los efectos electrostáticos son de muchas maneras aprovechables para la producción de luz. Por ejemplo, podemos colocar un cuerpo de algún material refractario en un globo cerrado, y preferiblemente más o menos evacuado, conectarlo a una fuente de alto potencial rápidamente alterno, haciendo que las moléculas del gas lo golpeen muchas veces por segundo a velocidades enormes, y de esta manera, con billones de martillos invisibles, golpearlo hasta que se vuelva incandescente; o podemos colocar un cuerpo en un globo muy altamente evacuado, en un vacío no disruptivo, y, empleando frecuencias y potenciales muy altos, transferir suficiente energía desde él a otros cuerpos en la vecindad, o en general al entorno, para mantenerlo a cualquier grado de incandescencia; o podemos, por medio de tales potenciales altos rápidamente

alternos, perturbar el éter transportado por las moléculas de un gas o sus cargas estáticas, haciéndolas vibrar y emitir luz.

Pero, siendo los efectos electrostáticos dependientes del potencial y la frecuencia, para producir la acción más potente es deseable aumentar ambos tanto como sea posible. Puede ser posible obtener resultados bastante buenos manteniendo uno de estos factores pequeño, siempre que el otro sea suficientemente grande; pero estamos limitados en ambas direcciones. Mi experiencia demuestra que no podemos bajar de una cierta frecuencia, pues, primero, el potencial se vuelve entonces tan grande que es peligroso; y, segundo, la producción de luz es menos eficiente.

He encontrado que, al usar las bajas frecuencias ordinarias, el efecto fisiológico de la corriente requerida para mantener a un cierto grado de brillo un tubo de cuatro pies de largo, provisto en los extremos con recubrimientos de condensador exteriores e interiores, es tan potente que, creo, podría producir lesiones graves a quienes no están acostumbrados a tales descargas; mientras que, con veinte mil alternancias por segundo, el tubo puede mantenerse al mismo grado de brillo sin que se sienta ningún efecto. Esto se debe principalmente al hecho de que se requiere un potencial mucho menor para producir el mismo efecto luminoso, y también a la mayor eficiencia en la producción de luz. Es evidente que la eficiencia en tales casos es mayor cuanto mayor es la frecuencia, pues cuanto más rápido es el proceso de carga y descarga de las moléculas, menos energía se perderá en forma de radiación oscura. Pero, desafortunadamente, no podemos ir más allá de una cierta frecuencia debido a la dificultad de producir y transportar los efectos.

He afirmado anteriormente que un cuerpo encerrado en una ampolla no evacuada puede calentarse intensamente simplemente conectándolo con una fuente de potencial rápidamente alterno. El calentamiento en tal caso se debe, con toda probabilidad, principalmente al bombardeo de las moléculas del gas contenido en la ampolla. Cuando la ampolla está evacuada, el calentamiento del cuerpo es mucho más rápido, y no hay ninguna dificultad en llevar un alambre o filamento a cualquier grado de incandescencia simplemente conectándolo a un terminal de una bobina de las dimensiones adecuadas.

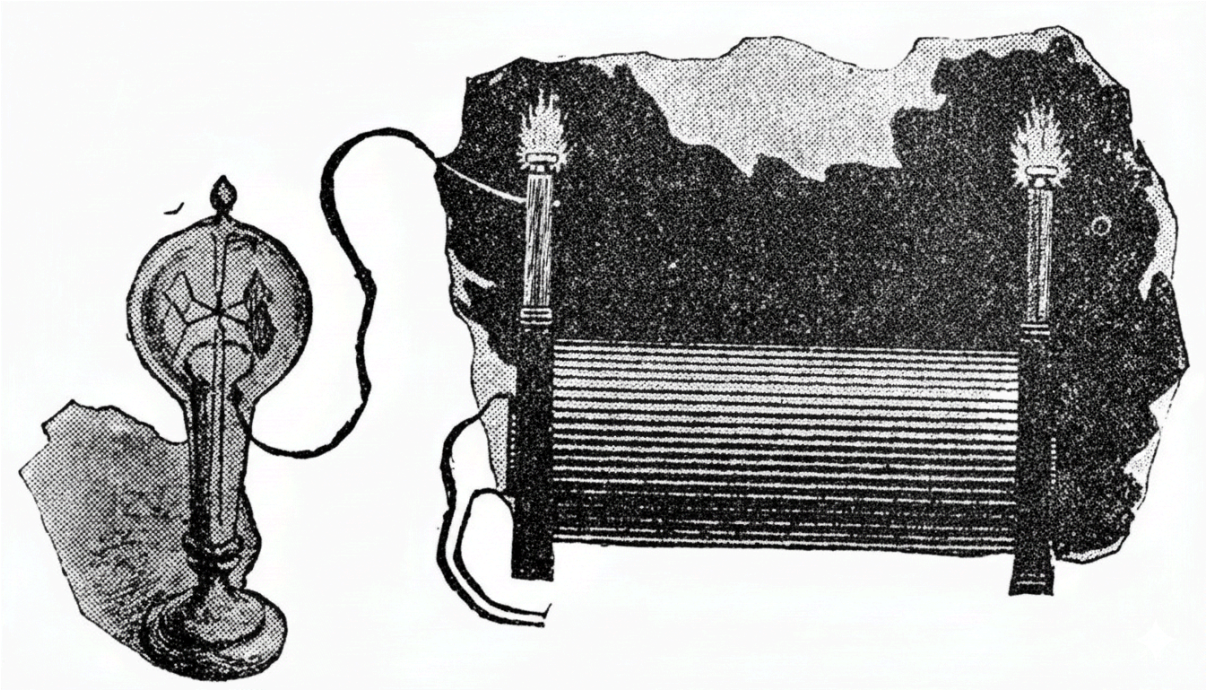
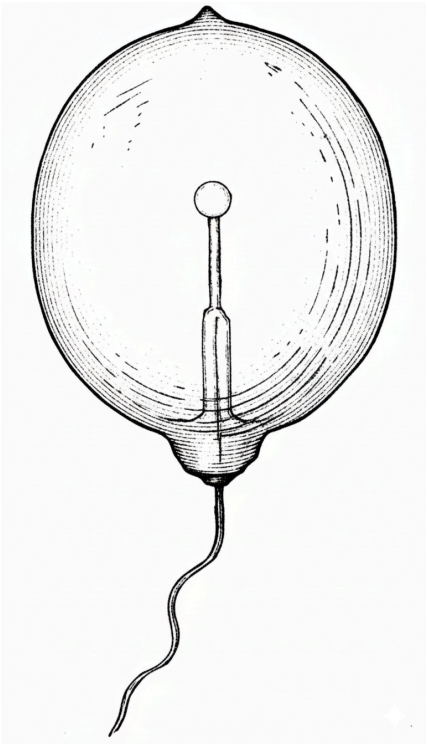


Fig. 114

Así, si el conocido aparato del Prof. Crookes, que consiste en un alambre de platino doblado con aspas montadas sobre él (Fig. 114), se conecta a un terminal de la bobina —conectando uno o ambos extremos del alambre de platino—, el alambre se vuelve casi instantáneamente incandescente, y las aspas de mica giran como si se usara una corriente de una batería.



Un filamento delgado de carbono, o, preferiblemente, un botón de algún material refractario (Fig. 115), incluso si es un conductor comparativamente pobre, encerrado en un globo evacuado, puede hacerse altamente incandescente; y de esta manera se proporciona una lámpara simple capaz de dar cualquier potencia lumínica deseada.

El éxito de lámparas de este tipo dependería en gran medida de la selección de los cuerpos luminosos contenidos dentro de la ampolla. Dado que, en las condiciones descritas, se pueden usar cuerpos refractarios —que son conductores muy pobres y capaces de soportar durante mucho tiempo grados de temperatura excesivamente altos—, tales dispositivos de iluminación pueden resultar exitosos.

Fig. 115

Podría pensarse al principio que si la ampolla, que contiene el filamento o botón de material refractario, está perfectamente evacuada —es decir, tanto como se puede hacer con el uso de los mejores aparatos—, el calentamiento sería mucho menos intenso, y que en un vacío perfecto no podría ocurrir en absoluto. Esto no se confirma por mi experiencia; todo lo contrario, cuanto mejor es el vacío, más fácilmente se llevan los cuerpos a la incandescencia. Este resultado es interesante por muchas razones.

Al comienzo de este trabajo, se me presentó la idea de si dos cuerpos de material refractario encerrados en una ampolla evacuada a tal grado que la descarga de una gran bobina de inducción, operada de la manera habitual, no puede pasar a través, podrían hacerse incandescentes por mera acción de condensador. Obviamente, para alcanzar este resultado se requieren enormes diferencias de potencial y frecuencias muy altas, como es evidente a partir de un simple cálculo.

Pero una lámpara así poseería una vasta ventaja sobre una lámpara incandescente ordinaria en cuanto a eficiencia. Es bien sabido que la eficiencia de una lámpara es, en cierta medida, una función del grado de incandescencia, y que, si pudiéramos hacer funcionar un filamento a grados de incandescencia muchas veces más altos, la eficiencia sería mucho mayor. En una lámpara ordinaria esto es impracticable debido a la destrucción del filamento, y la experiencia ha determinado hasta qué punto es aconsejable forzar la incandescencia. Es imposible decir cuánta mayor eficiencia podría obtenerse si el filamento pudiera resistir indefinidamente, ya que la investigación con este fin obviamente no puede llevarse más allá de una cierta etapa; pero hay razones para creer que sería considerablemente más alta. Se podría hacer una mejora en la lámpara ordinaria empleando un carbono corto y grueso; pero entonces los alambres de entrada tendrían que ser gruesos y, además, hay muchas otras consideraciones que hacen que tal modificación sea completamente impracticable. Pero en una lámpara como la descrita anteriormente, los alambres de entrada pueden ser muy pequeños, el material refractario incandescente puede tener la forma de bloques que ofrecen una superficie radiante muy pequeña, de modo que se requeriría menos energía para mantenerlos a la incandescencia deseada; y además de esto, el material refractario no necesita ser carbono, sino que puede fabricarse a partir de mezclas de óxidos, por ejemplo, con carbono u otro material, o puede seleccionarse entre cuerpos que son prácticamente no conductores y capaces de soportar enormes grados de temperatura.

Todo esto apuntaría a la posibilidad de obtener una eficiencia mucho mayor con una lámpara así que la que se puede obtener en las lámparas ordinarias. En mi experiencia se ha demostrado que los bloques se llevan a altos grados de incandescencia con potenciales mucho más bajos que los determinados por cálculo, y los bloques pueden colocarse a mayores distancias entre sí. Podemos suponer libremente, y es probable, que el bombardeo molecular es un elemento importante

en el calentamiento, incluso si el globo se evacua con el máximo cuidado, como lo he hecho; pues aunque el número de moléculas es, comparativamente hablando, insignificante, sin embargo, debido a que el recorrido libre medio es muy grande, hay menos colisiones, y las moléculas pueden alcanzar velocidades mucho más altas, de modo que el efecto de calentamiento debido a esta causa puede ser considerable, como en los experimentos de Crookes con materia radiante.

Pero también es posible que tengamos que ver aquí con una mayor facilidad para perder la carga en un vacío muy alto, cuando el potencial alterna rápidamente, en cuyo caso la mayor parte del calentamiento se debería directamente a la oscilación de las cargas en los cuerpos calentados. O bien, el hecho observado puede atribuirse en gran medida al efecto de las puntas que he mencionado anteriormente, como consecuencia de lo cual los bloques o filamentos contenidos en el vacío son equivalentes a condensadores de una superficie muchas veces mayor que la calculada a partir de sus dimensiones geométricas. Los hombres de ciencia todavía difieren en opinión sobre si una carga debería o no perderse en un vacío perfecto, o, en otras palabras, si el éter es o no un conductor. Si lo primero fuera el caso, entonces un filamento delgado encerrado en un globo perfectamente evacuado y conectado a una fuente de enorme potencial constante, se llevaría a la incandescencia.

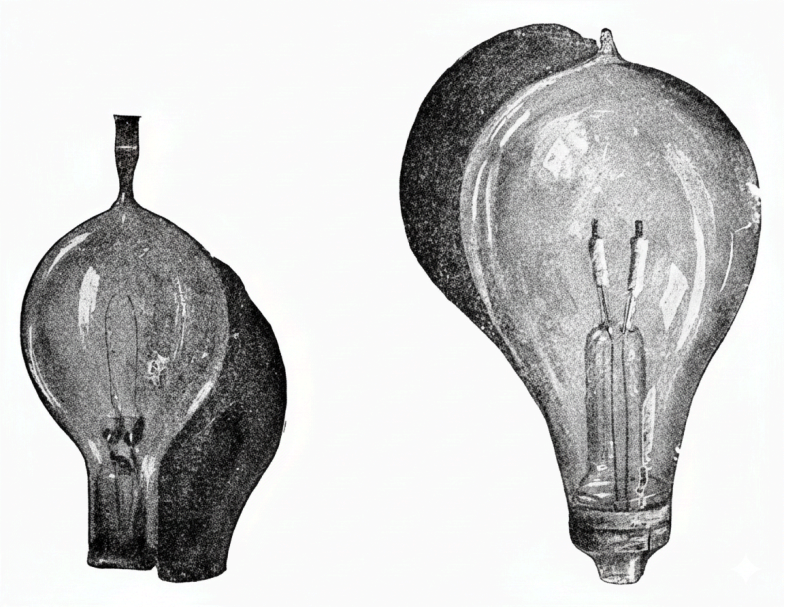


Fig. 116 y 117

Varias formas de lámparas basadas en el principio descrito anteriormente, con los cuerpos refractarios en forma de filamentos, Fig. 116, o bloques, Fig. 117, han sido construidas y operadas por mí, y se están llevando a cabo investigaciones en esta línea. No hay dificultad en alcanzar grados de incandescencia tan altos que el carbono ordinario, a todas luces, se derrite y volatiliza. Si el vacío pudiera hacerse absolutamente perfecto, una lámpara así, aunque inoperante con los aparatos ordinariamente utilizados, si se operara con corrientes del carácter requerido,

proporcionaría un iluminante que nunca se destruiría y que sería mucho más eficiente que una lámpara incandescente ordinaria. Esta perfección, por supuesto, nunca puede alcanzarse; y siempre ocurre una destrucción muy lenta y una disminución gradual del tamaño, como en los filamentos incandescentes; pero no hay posibilidad de una inutilización repentina y prematura que ocurre en estos últimos por la rotura del filamento, especialmente cuando los cuerpos incandescentes tienen forma de bloques.

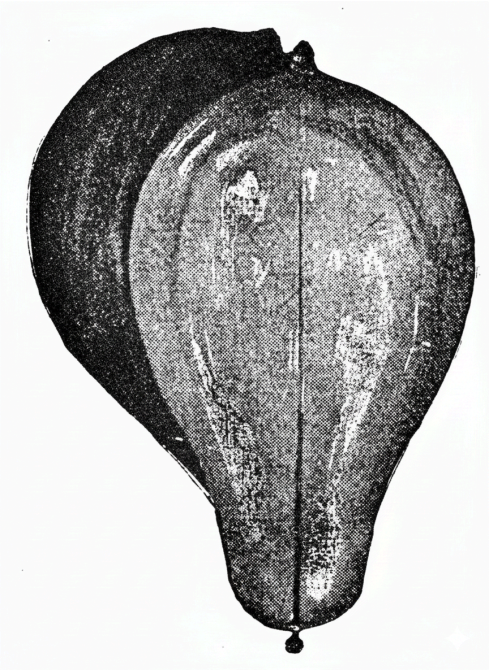


Fig. 118

Con estos potenciales rápidamente alternos, sin embargo, no hay necesidad de encerrar dos bloques en un globo, sino que se puede usar un solo bloque, como en la Fig. 115, o un filamento, Fig. 118. El potencial en este caso, por supuesto, debe ser más alto, pero es fácilmente obtenible y, además, no es necesariamente peligroso.

La facilidad con la que el botón o filamento en una lámpara así se lleva a la incandescencia, siendo todo lo demás igual, depende del tamaño del globo. Si se pudiera obtener un vacío perfecto, el tamaño del globo no sería importante, ya que entonces el calentamiento se debería por completo a la oscilación de las cargas, y toda la energía se cedería al entorno por radiación. Pero esto nunca puede ocurrir en la práctica. Siempre queda algo de gas en el globo, y aunque la evacuación se lleve al más alto grado, el espacio dentro de la ampolla debe considerarse como conductor cuando se utilizan potenciales tan altos, y supongo que, al estimar la energía que puede cederse del filamento al entorno, podemos considerar la superficie interior de la ampolla como una armadura de un condensador, y el aire y otros objetos que rodean la ampolla como la otra armadura. Cuando las alternancias son muy bajas, no hay duda de que una parte considerable de la energía se cede por la electrificación del aire circundante.

Para estudiar mejor este tema, realicé algunos experimentos con potenciales excesivamente altos y bajas frecuencias. Entonces observé que cuando se acerca la mano a la ampolla —estando el filamento conectado a un terminal de la bobina— se siente una potente vibración, debida a la atracción y repulsión de las moléculas del aire que se electrifican por inducción a través del vidrio. En algunos casos, cuando la acción es muy intensa, he podido oír un sonido, que debe deberse a la misma causa.

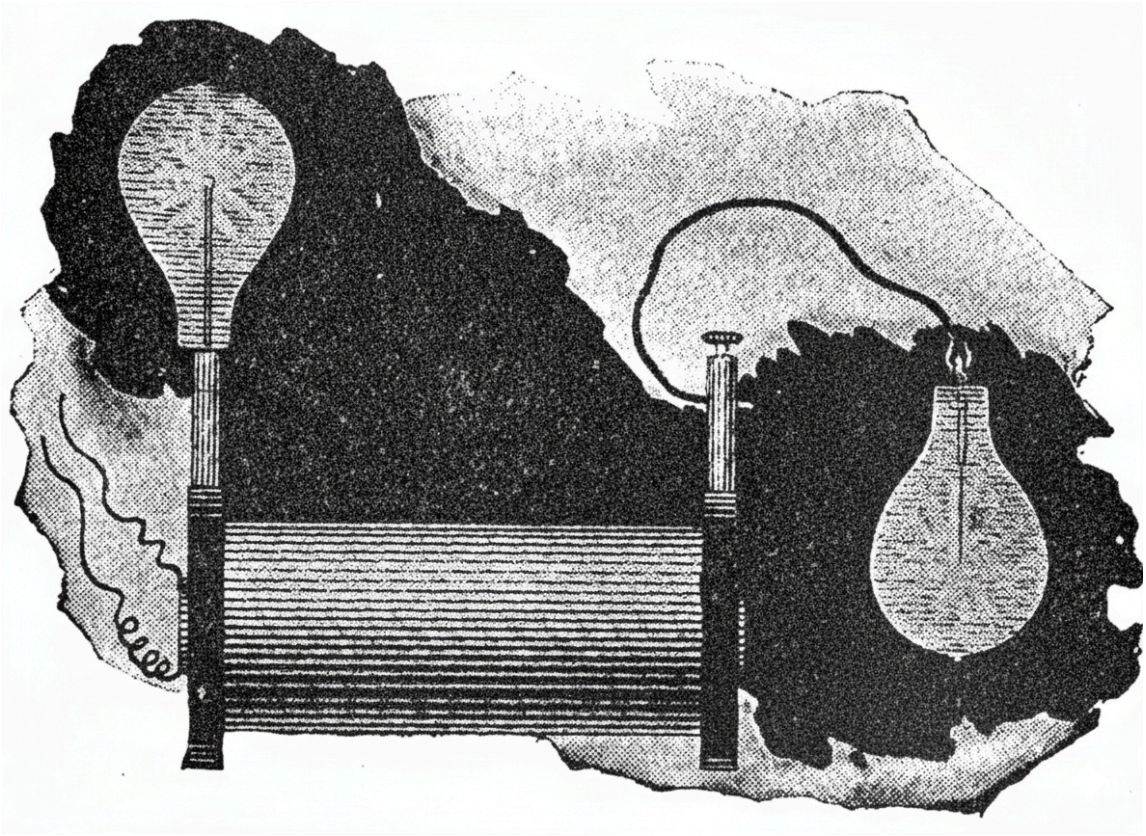


Fig. 119

Cuando las alternancias son bajas, es probable que se reciba una descarga excesivamente potente de la ampolla. En general, cuando se conectan ampollas u objetos de cierto tamaño a los terminales de la bobina, se debe tener cuidado con el aumento de potencial, ya que puede suceder que simplemente conectando una ampolla o placa al terminal, el potencial se eleve a muchas veces su valor original. Cuando las lámparas se conectan a los terminales, como se ilustra en la Fig. 119, la capacidad de las ampollas debe ser tal que dé el máximo aumento de potencial bajo las condiciones existentes. De esta manera se puede obtener el potencial requerido con menos espiras de alambre.

La vida de lámparas como las descritas anteriormente depende, por supuesto, en gran medida del grado de evacuación, pero en cierta medida también de la forma del bloque de material refractario. Teóricamente parecería que una pequeña esfera de carbono encerrada en una esfera de vidrio no sufriría deterioro por el bombardeo

molecular, ya que, siendo la materia en el globo radiante, las moléculas se moverían en líneas rectas y rara vez golpearían la esfera oblicuamente. Un pensamiento interesante en conexión con una lámpara así es que en ella la "electricidad" y la energía eléctrica aparentemente deben moverse en las mismas líneas.

El uso de corrientes alternas de muy alta frecuencia hace posible transferir, por inducción electrostática o electromagnética a través del vidrio de una lámpara, suficiente energía para mantener un filamento en incandescencia y así eliminar los alambres de entrada. Se han propuesto tales lámparas, pero por falta de aparatos adecuados no han sido operadas con éxito. He construido y experimentado con muchas formas de lámparas de este principio con filamentos continuos y rotos. Cuando se utiliza un secundario encerrado dentro de la lámpara, se combina ventajosamente un condensador con el secundario. Cuando la transferencia se efectúa por inducción electrostática, los potenciales utilizados son, por supuesto, muy altos con las frecuencias obtenibles de una máquina. Por ejemplo, con una superficie de condensador de cuarenta centímetros cuadrados, que no es impracticablemente grande, y con vidrio de buena calidad de 1 mm de espesor, utilizando corrientes que alternan veinte mil veces por segundo, el potencial requerido es de aproximadamente 9,000 voltios. Esto puede parecer grande, pero como cada lámpara puede incluirse en el secundario de un transformador de dimensiones muy pequeñas, no sería inconveniente y, además, no produciría lesiones fatales. Los transformadores estarían preferiblemente todos en serie. La regulación no ofrecería dificultades, ya que con corrientes de tales frecuencias es muy fácil mantener una corriente constante.

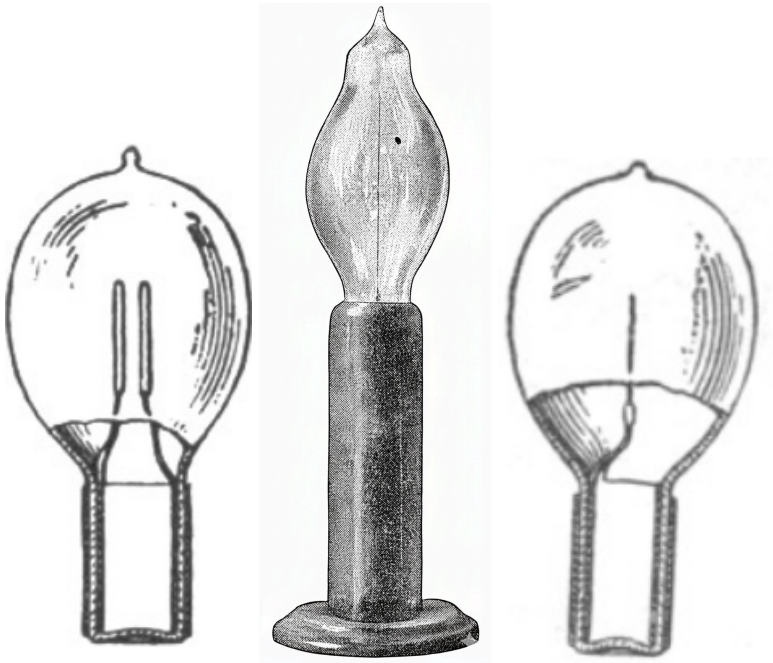


Fig. 120, 121a y 121b

En los grabados adjuntos se muestran algunos de los tipos de lámparas de este tipo. La Fig. 120 es una lámpara así con un filamento roto, y las Figs. 121a y 121b una con una sola capa exterior e interior y un solo filamento. También he hecho

lámparas con dos capas exteriores e interiores y un bucle continuo que conecta estas últimas. Tales lámparas han sido operadas por mí con impulsos de corriente de las enormes frecuencias obtenibles por la descarga disruptiva de condensadores.

La descarga disruptiva de un condensador es especialmente adecuada para operar tales lámparas —sin conexiones eléctricas externas— por medio de la inducción electromagnética, siendo los efectos inductivos electromagnéticos excesivamente altos; y he podido producir la incandescencia deseada con solo unas pocas espiras cortas de alambre. La incandescencia también se puede producir de esta manera en un simple filamento cerrado.
Dejando ahora de lado la viabilidad de tales lámparas, solo diría que poseen una característica hermosa y deseable, a saber, que pueden hacerse, a voluntad, más o menos brillantes simplemente alterando la posición relativa de las capas del condensador exterior e interior, o de los circuitos inductor e inducido.

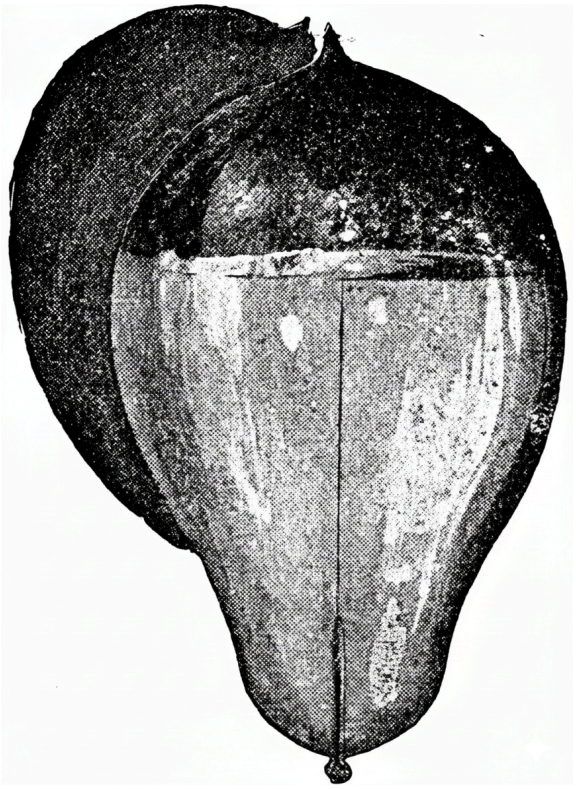


Fig. 122 y 123

Cuando una lámpara se enciende conectándola a un solo terminal de la fuente, esto puede facilitarse proveyendo al globo de una capa de condensador exterior, que sirve al mismo tiempo como reflector, y conectando esta a un cuerpo aislado de cierto tamaño. Lámparas de este tipo se ilustran en la Fig. 122 y la Fig. 123.

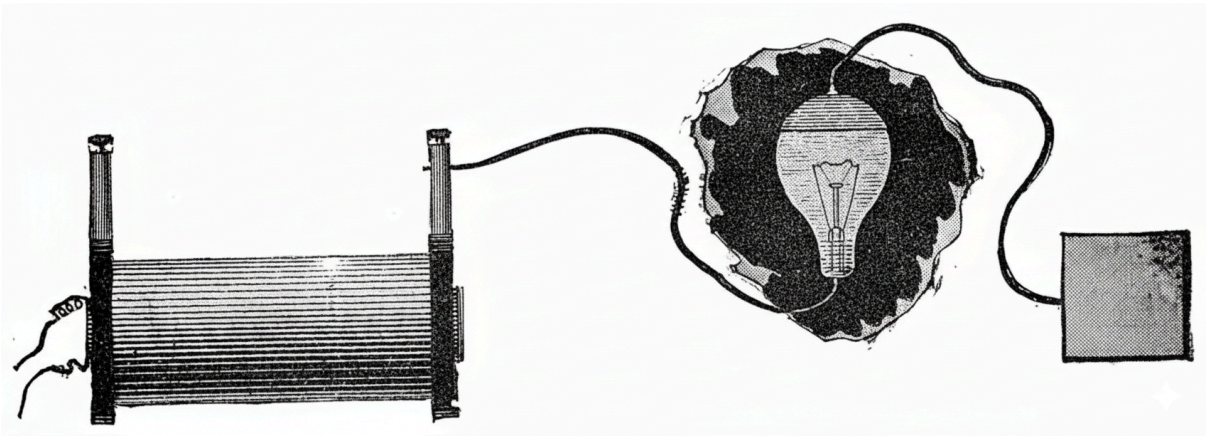


Fig. 124

La Fig. 124 muestra el plan de conexión. El brillo de la lámpara puede, en este caso, regularse dentro de amplios límites variando el tamaño de la placa de metal aislada a la que se conecta la capa.

Igualmente es practicable encender con un solo alambre de entrada lámparas como las ilustradas en la Fig. 116 y la Fig. 117, conectando un terminal de la lámpara a un terminal de la fuente, y el otro a un cuerpo aislado del tamaño requerido. En todos los casos el cuerpo aislado sirve para ceder la energía al espacio circundante, y es equivalente a un alambre de retorno. Obviamente, en los dos últimos casos mencionados, en lugar de conectar los alambres a un cuerpo aislado, se pueden hacer conexiones a tierra.

Los experimentos que resultarán más sugerentes y de mayor interés para el investigador son probablemente los realizados con tubos evacuados. Como podría anticiparse, una fuente de potenciales tan rápidamente alternos es capaz de excitar los tubos a una distancia considerable, y los efectos luminosos producidos son notables.

Durante mis investigaciones en esta línea, me esforcé por excitar tubos, desprovistos de electrodos, por inducción electromagnética, haciendo del tubo el secundario del dispositivo de inducción y pasando a través del primario las descargas de una botella de Leyden. Estos tubos se hicieron de muchas formas, y pude obtener efectos luminosos que entonces pensé que se debían por completo a la inducción electromagnética. Pero al investigar cuidadosamente los fenómenos, encontré que los efectos producidos eran más de naturaleza electrostática. Puede atribuirse a esta circunstancia que este modo de excitar tubos es muy derrochador, a saber, al estar cerrado el circuito primario, el potencial, y consecuentemente el efecto inductivo electrostático, se reduce mucho.

Cuando se utiliza una bobina de inducción, operada como se describió anteriormente, no hay duda de que los tubos se excitan por inducción electrostática,

y que la inducción electromagnética tiene poco, si es que algo, que ver con los fenómenos.

Esto es evidente a partir de muchos experimentos. Por ejemplo, si se toma un tubo en una mano, estando el observador cerca de la bobina, se ilumina brillantemente y permanece así sin importar en qué posición se sostenga con relación al cuerpo del observador. Si la acción fuera electromagnética, el tubo no podría encenderse cuando el cuerpo del observador se interpone entre él y la bobina, o al menos su luminosidad debería disminuir considerablemente. Cuando el tubo se sostiene exactamente sobre el centro de la bobina —estando esta última bobinada en secciones y el primario colocado simétricamente al secundario— puede permanecer completamente oscuro, mientras que se vuelve intensamente luminoso al moverlo ligeramente a la derecha o a la izquierda del centro de la bobina. No se enciende porque en el medio ambas mitades de la bobina se neutralizan entre sí, y el potencial eléctrico es cero. Si la acción fuera electromagnética, el tubo debería encenderse mejor en el plano que pasa por el centro de la bobina, ya que el efecto electromagnético allí debería ser máximo. Cuando se establece un arco entre los terminales, los tubos y lámparas en la vecindad de la bobina se apagan, pero se encienden de nuevo cuando se rompe el arco, debido al aumento de potencial. Sin embargo, el efecto electromagnético debería ser prácticamente el mismo en ambos casos.

Colocando un tubo a cierta distancia de la bobina, y más cerca de un terminal —preferiblemente en un punto sobre el eje de la bobina—, se puede encender tocando el terminal remoto con un cuerpo aislado de cierto tamaño o con la mano, elevando así el potencial en el terminal más cercano al tubo. Si el tubo se desplaza más cerca de la bobina de modo que se encienda por la acción del terminal más cercano, se puede hacer que se apague sosteniendo, sobre un soporte aislado, el extremo de un alambre conectado al terminal remoto, en la vecindad del terminal más cercano, contrarrestando de esta manera la acción de este último sobre el tubo. Estos efectos son evidentemente electrostáticos. Igualmente, cuando se coloca un tubo a una distancia considerable de la bobina, el observador puede, de pie sobre un soporte aislado entre la bobina y el tubo, encender este último acercando la mano a él; o incluso puede hacerlo luminoso simplemente interponiéndose entre él y la bobina. Esto sería imposible con la inducción electromagnética, ya que el cuerpo del observador actuaría como una pantalla.

Cuando la bobina es energizada por corrientes excesivamente débiles, el experimentador puede, tocando un terminal de la bobina con el tubo, extinguir este último, y puede encenderlo de nuevo apartándolo del contacto con el terminal y permitiendo que se forme un pequeño arco. Esto se debe claramente a la respectiva bajada y subida del potencial en ese terminal. En el experimento anterior, cuando el tubo se enciende a través de un pequeño arco, puede apagarse cuando se rompe el arco, porque el efecto inductivo electrostático por sí solo es demasiado débil,

aunque el potencial puede ser mucho mayor; pero cuando se establece el arco, la electrificación del extremo del tubo es mucho mayor y, en consecuencia, se enciende.

Si un tubo se enciende sosteniéndolo cerca de la bobina, y en la mano que está alejada, al agarrar el tubo en cualquier parte con la otra mano, la parte entre las manos se vuelve oscura, y el singular efecto de borrar la luz del tubo puede producirse pasando la mano rápidamente a lo largo del tubo y al mismo tiempo retirándolo suavemente de la bobina, juzgando adecuadamente la distancia para que el tubo permanezca oscuro después.

Si la bobina primaria se coloca de lado, como en la Fig. 112b por ejemplo, y se introduce un tubo evacuado desde el otro lado en el espacio hueco, el tubo se ilumina más intensamente debido al aumento de la acción del condensador, y en esta posición las estrías se definen más nítidamente. En todos estos experimentos descritos, y en muchos otros, la acción es claramente electrostática.

Los efectos de apantallamiento también indican la naturaleza electrostática de los fenómenos y muestran algo de la naturaleza de la electrificación a través del aire. Por ejemplo, si se coloca un tubo en la dirección del eje de la bobina, y se interpone una placa de metal aislada, el tubo generalmente aumentará en brillo, o si está demasiado lejos de la bobina para encenderse, incluso puede hacerse luminoso interponiendo una placa de metal aislada. La magnitud de los efectos depende en cierta medida del tamaño de la placa. Pero si la placa de metal se conecta con un alambre a tierra, su interposición siempre hará que el tubo se apague, incluso si está muy cerca de la bobina. En general, la interposición de un cuerpo entre la bobina y el tubo aumenta o disminuye el brillo del tubo, o su facilidad para encenderse, según aumente o disminuya la electrificación. Cuando se experimenta con una placa aislada, la placa no debe ser demasiado grande, de lo contrario, generalmente producirá un efecto debilitador debido a su gran facilidad para ceder energía al entorno.

Si un tubo se enciende a cierta distancia de la bobina, y se interpone una placa de caucho duro u otra sustancia aislante, se puede hacer que el tubo se apague. La interposición del dieléctrico en este caso solo aumenta ligeramente el efecto inductivo, pero disminuye considerablemente la electrificación a través del aire.

En todos los casos, entonces, cuando excitamos la luminosidad en tubos evacuados por medio de una bobina así, el efecto se debe al potencial electrostático rápidamente alterno; y, además, debe atribuirse a la alternancia armónica producida directamente por la máquina, y no a ninguna vibración superpuesta que se pudiera pensar que existe. Tales vibraciones superpuestas son imposibles cuando trabajamos con una máquina de corriente alterna. Si un resorte se tensa y se suelta gradualmente, no realiza vibraciones independientes; para esto es necesaria una

liberación súbita. Lo mismo ocurre con las corrientes alternas de una máquina dinamo; el medio se tensa y se libera armónicamente, lo que da lugar a un solo tipo de ondas; un contacto o ruptura súbita, o una cesión súbita del dieléctrico, como en la descarga disruptiva de una botella de Leyden, son esenciales para la producción de ondas superpuestas.

En todos los últimos experimentos descritos, se pueden usar tubos desprovistos de electrodos, y no hay dificultad en producir por sus medios suficiente luz para leer. El efecto luminoso, sin embargo, se incrementa considerablemente con el uso de cuerpos fosforescentes como itria, vidrio de uranio, etc. Se encontrará una dificultad cuando se utilice material fosforescente, ya que con estos potentes efectos, se va desprendiendo gradualmente, y es preferible usar material en forma sólida.

En lugar de depender de la inducción a distancia para encender el tubo, este puede ser provisto de una capa de condensador externa —y, si se desea, también una interna—, y entonces puede suspenderse en cualquier lugar de la habitación de un conductor conectado a un terminal de la bobina, y de esta manera se puede proporcionar una iluminación suave.

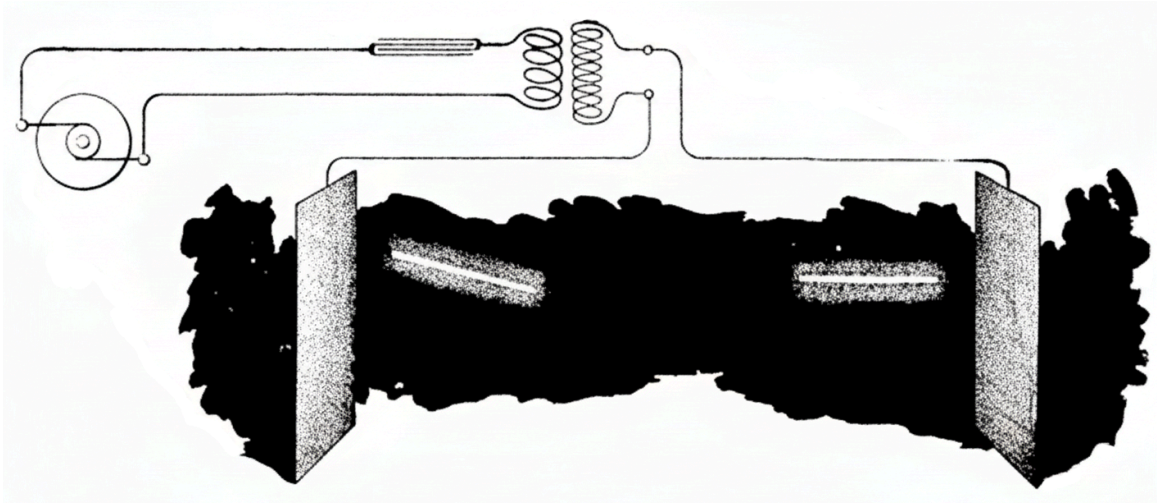


Fig. 125

La forma ideal de iluminar un salón o una habitación sería, sin embargo, producir en ella una condición tal que un dispositivo de iluminación pudiera moverse y colocarse en cualquier lugar, y que se encendiera, sin importar dónde se pusiera y sin estar conectado eléctricamente a nada. He sido capaz de producir tal condición creando en la habitación un potente campo electrostático rápidamente alterno. Para este propósito, suspendo una lámina de metal a cierta distancia del techo con cuerdas aislantes y la conecto a un terminal de la bobina de inducción, conectando preferiblemente el otro terminal a tierra. O bien, suspendo dos láminas como se ilustra en la Fig. 125, cada lámina conectada a uno de los terminales de la bobina, y su tamaño cuidadosamente determinado. Un tubo evacuado puede entonces

llevarse en la mano a cualquier lugar entre las láminas o colocarse en cualquier lugar, incluso a cierta distancia más allá de ellas; permanece siempre luminoso.

En tal campo electrostático se pueden observar fenómenos interesantes, especialmente si las alternancias se mantienen bajas y los potenciales excesivamente altos. Además de los fenómenos luminosos mencionados, se puede observar que cualquier conductor aislado produce chispas cuando se le acerca la mano u otro objeto, y las chispas a menudo pueden ser potentes. Cuando se fija un objeto conductor grande sobre un soporte aislante, y se le acerca la mano, se siente una vibración, debida al movimiento rítmico de las moléculas de aire, y se pueden percibir chorros luminosos cuando la mano se sostiene cerca de una proyección puntiaguda. Cuando un receptor telefónico se hace tocar con uno o ambos de sus terminales un conductor aislado de cierto tamaño, el teléfono emite un sonido fuerte; también emite un sonido cuando se conecta un trozo de alambre a uno o ambos terminales, y con campos muy potentes se puede percibir un sonido incluso sin ningún alambre.

Hasta qué punto este principio es susceptible de aplicación práctica, el futuro lo dirá. Podría pensarse que los efectos electrostáticos no son adecuados para tal acción a distancia. Los efectos inductivos electromagnéticos, si estuvieran disponibles para la producción de luz, podrían pensarse más adecuados. Es cierto que los efectos electrostáticos disminuyen casi con el cubo de la distancia desde la bobina, mientras que los efectos inductivos electromagnéticos disminuyen simplemente con la distancia. Pero cuando establecemos un campo de fuerza electrostático, la condición es muy diferente, pues entonces, en lugar del efecto diferencial de ambos terminales, obtenemos su efecto conjunto. Además, quisiera llamar la atención sobre el efecto de que en un campo electrostático alterno, un conductor, como un tubo evacuado, por ejemplo, tiende a absorber la mayor parte de la energía, mientras que en un campo electromagnético alterno el conductor tiende a absorber la menor cantidad de energía, siendo las ondas reflejadas con muy poca pérdida. Esta es una de las razones por las que es difícil excitar un tubo evacuado, a distancia, por inducción electromagnética. He bobinado bobinas de diámetro muy grande y de muchas espiras de alambre, y he conectado un tubo de Geissler a los extremos de la bobina con el objeto de excitar el tubo a distancia; pero incluso con los potentes efectos inductivos producibles por las descargas de una botella de Leyden, el tubo no pudo ser excitado a menos que estuviera a una distancia muy pequeña, aunque se usó cierto juicio en cuanto a las dimensiones de la bobina. También he encontrado que incluso las descargas más potentes de una botella de Leyden son capaces de excitar solo débiles efectos luminosos en un tubo evacuado cerrado, e incluso estos efectos, tras un examen exhaustivo, me he visto forzado a considerarlos de naturaleza electrostática.

¿Cómo podemos, entonces, esperar producir los efectos requeridos a distancia por medio de la acción electromagnética, cuando incluso en la proximidad más cercana

a la fuente de la perturbación, bajo las condiciones más ventajosas, podemos excitar solo una débil luminosidad? Es cierto que cuando se actúa a distancia tenemos la resonancia para ayudarnos. Podemos conectar un tubo evacuado, o cualquiera que sea el dispositivo de iluminación, con un sistema aislado de la capacidad adecuada, y así puede ser posible aumentar el efecto cualitativamente, y solo cualitativamente, pues no obtendríamos más energía a través del dispositivo. Así que podemos, por efecto de resonancia, obtener la fuerza electromotriz requerida en un tubo evacuado, y excitar débiles efectos luminosos, pero no podemos obtener suficiente energía para hacer que la luz sea prácticamente utilizable, y un simple cálculo, basado en resultados experimentales, muestra que incluso si toda la energía que un tubo recibiría a una cierta distancia de la fuente se convirtiera por completo en luz, difícilmente satisfaría los requisitos prácticos. De ahí la necesidad de dirigir, por medio de un circuito conductor, la energía al lugar de la transformación. Pero al hacerlo no podemos apartarnos muy sensiblemente de los métodos actuales, y todo lo que podríamos hacer sería mejorar el aparato.

De estas consideraciones parecería que si esta forma ideal de iluminación ha de hacerse practicable, será solo mediante el uso de efectos electrostáticos. En tal caso, se necesitan los efectos inductivos electrostáticos más potentes; el aparato empleado debe, por lo tanto, ser capaz de producir altos potenciales electrostáticos que cambien de valor con extrema rapidez. Se necesitan especialmente altas frecuencias, pues consideraciones prácticas hacen deseable mantener bajo el potencial. Con el empleo de máquinas, o, en términos generales, de cualquier aparato mecánico, solo se pueden alcanzar bajas frecuencias; por lo tanto, se debe recurrir a algún otro medio. La descarga de un condensador nos proporciona un medio para obtener frecuencias con mucho más altas que las que se pueden obtener mecánicamente, y en consecuencia he empleado condensadores en los experimentos para dicho fin.

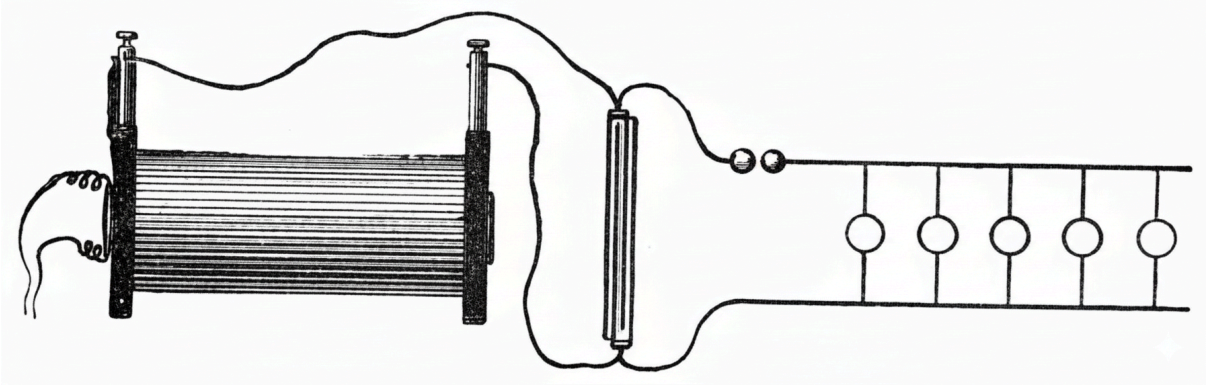


Fig. 126

Cuando los terminales de una bobina de inducción de alta tensión, Fig. 126, se conectan a una botella de Leyden, y esta última se descarga disruptivamente en un circuito, podemos considerar el arco que juega entre los bornes como una fuente de corrientes alternas, o en términos generales, ondulantes, y entonces tenemos que

tratar con el sistema familiar de un generador de tales corrientes, un circuito conectado a él, y un condensador puenteando el circuito. El condensador en tal caso es un verdadero transformador, y dado que la frecuencia es excesiva, se puede obtener casi cualquier relación en la intensidad de las corrientes en ambas ramas. En realidad, la analogía no es del todo completa, pues en la descarga disruptiva tenemos generalmente una variación instantánea fundamental de frecuencia comparativamente baja, y una vibración armónica superpuesta, y las leyes que gobiernan el flujo de las corrientes no son las mismas para ambas.

Al convertir de esta manera, la relación de conversión no debe ser demasiado grande, pues la pérdida en el arco entre los bornes aumenta con el cuadrado de la corriente, y si la botella se descarga a través de conductores muy gruesos y cortos, con el fin de obtener una oscilación muy rápida, se pierde una porción muy considerable de la energía almacenada. Por otro lado, relaciones demasiado pequeñas no son practicables por muchas razones obvias.

Como las corrientes convertidas fluyen en un circuito prácticamente cerrado, los efectos electrostáticos son necesariamente pequeños, y por lo tanto los convierto en corrientes o efectos del carácter requerido. He efectuado tales conversiones de varias maneras.

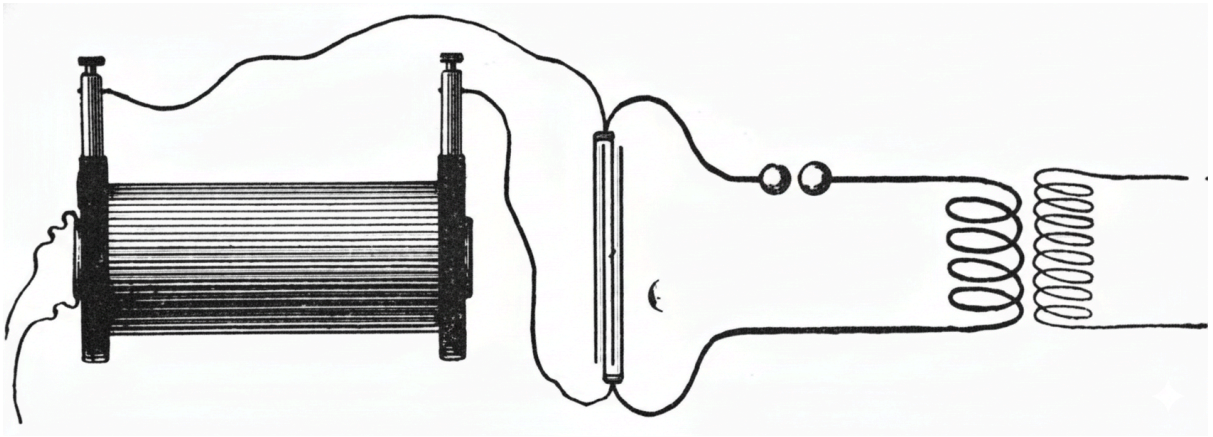


Fig. 127

El plan de conexiones preferido se ilustra en la Fig. 127. La manera de operar facilita la obtención, por medio de un aparato pequeño y económico, de enormes diferencias de potencial que usualmente se han obtenido por medio de bobinas grandes y costosas. Para esto solo es necesario tomar una pequeña bobina ordinaria, ajustarle un condensador y un circuito de descarga, formando el primario de una pequeña bobina auxiliar, y convertir hacia arriba. Como el efecto inductivo de las corrientes primarias es excesivamente grande, la segunda bobina necesita tener comparativamente muy pocas espiras. Ajustando adecuadamente los elementos, se pueden asegurar resultados notables.

Al intentar obtener los efectos electrostáticos requeridos de esta manera, he encontrado, como era de esperar, muchas dificultades que he ido superando gradualmente, pero todavía no estoy preparado para extenderme sobre mis experiencias en esta dirección.

Creo que la descarga disruptiva de un condensador jugará un papel importante en el futuro, pues ofrece vastas posibilidades, no solo en la forma de producir luz de una manera más eficiente y en la línea indicada por la teoría, sino también en muchos otros aspectos.

Durante años, los esfuerzos de los inventores se han dirigido a obtener energía eléctrica del calor por medio de la termopila. Podría parecer odioso señalar que pocos saben cuál es el verdadero problema con la termopila. No es la ineficiencia o la pequeña producción —aunque estos son grandes inconvenientes— sino el hecho de que la termopila tiene su filoxera, es decir, que con el uso constante se deteriora, lo que hasta ahora ha impedido su introducción a escala industrial. Ahora que toda la investigación moderna parece apuntar con certeza al uso de electricidad de tensión excesivamente alta, la pregunta debe presentarse a muchos de si no es posible obtener de manera practicable esta forma de energía a partir del calor. Hemos estado acostumbrados a ver una máquina electrostática como un juguete, y de alguna manera asociamos con ella la idea de lo ineficiente e impráctico. Pero ahora debemos pensar diferente, pues ahora sabemos que en todas partes tenemos que tratar con las mismas fuerzas, y que es una mera cuestión de inventar métodos o aparatos adecuados para hacerlas disponibles.

En los sistemas actuales de distribución eléctrica, el empleo del hierro con sus maravillosas propiedades magnéticas nos permite reducir considerablemente el tamaño de los aparatos; pero, a pesar de esto, todavía son muy voluminosos. Cuanto más progresamos en el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos, más nos convencemos de que los métodos actuales serán de corta duración. Para la producción de luz, al menos, tal maquinaria pesada parecería innecesaria. La energía requerida es muy pequeña, y si la luz se puede obtener tan eficientemente como, teóricamente, parece posible, el aparato necesitaría tener solo una producción muy pequeña. Existiendo una fuerte probabilidad de que los métodos de iluminación del futuro involucren el uso de potenciales muy altos, parece muy deseable perfeccionar un artilugio capaz de convertir la energía del calor en energía de la forma requerida. No se ha hecho nada digno de mención para este fin, pues la idea de que la electricidad de unos 50.000 o 100.000 voltios de presión o más, incluso si se obtuviera, sería inutilizable para fines prácticos, ha disuadido a los inventores de trabajar en esta dirección.

En la Fig. 126 se muestra un plan de conexiones para convertir corrientes de alta tensión en corrientes de baja tensión por medio de la descarga disruptiva de un condensador. Este plan ha sido utilizado por mí frecuentemente para operar unas

pocas lámparas incandescentes requeridas en el laboratorio. Se han encontrado algunas dificultades en el arco de la descarga que he podido superar en gran medida; además de esto, y del ajuste necesario para el correcto funcionamiento, no se han encontrado otras dificultades, y fue fácil operar lámparas ordinarias, e incluso motores, de esta manera. Estando la línea conectada a tierra, todos los cables podían manejarse con perfecta impunidad, sin importar cuán alto fuera el potencial en los terminales del condensador. En estos experimentos se empleó una bobina de inducción de alta tensión, operada desde una batería o desde una máquina de corriente alterna, para cargar el condensador; pero la bobina de inducción podría ser reemplazada por un aparato de un tipo diferente, capaz de dar electricidad de tan alta tensión. De esta manera, se pueden convertir corrientes continuas o alternas, y en ambos casos los impulsos de corriente pueden ser de cualquier frecuencia deseada. Cuando las corrientes que cargan el condensador son de la misma dirección, y se desea que las corrientes convertidas también sean de una dirección, la resistencia del circuito de descarga debe, por supuesto, elegirse de tal manera que no haya oscilaciones.

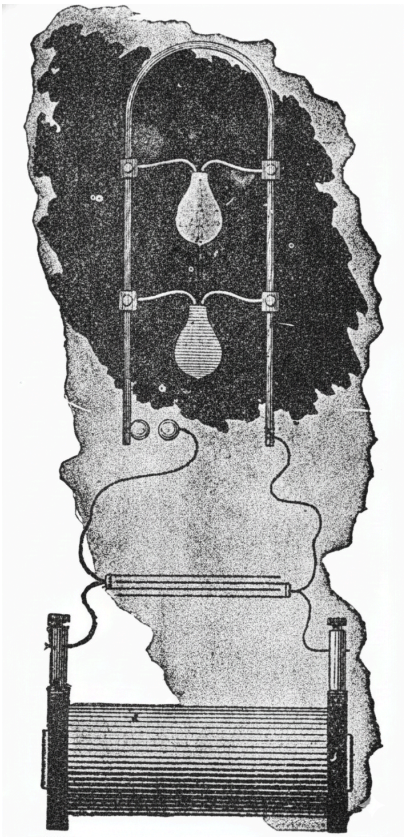


Fig. 128

Al operar dispositivos según el plan anterior, he observado curiosos fenómenos de impedancia que son de interés. Por ejemplo, si una barra de cobre gruesa se dobla, como se indica en la Fig. 128, y es puenteada por lámparas incandescentes ordinarias, entonces, al pasar la descarga entre los pomos, las lámparas pueden llevarse a la incandescencia aunque estén en cortocircuito. Cuando se emplea una

gran bobina de inducción es fácil obtener nodos en la barra, que se hacen evidentes por el diferente grado de brillo de las lámparas, como se muestra aproximadamente en la Fig. 128. Los nodos nunca están claramente definidos, sino que son simplemente máximos y mínimos de potenciales a lo largo de la barra. Esto se debe probablemente a la irregularidad del arco entre los pomos. En general, cuando se utiliza el plan de conversión de alta a baja tensión descrito anteriormente, el comportamiento de la descarga disruptiva puede estudiarse de cerca. Los nodos también pueden investigarse por medio de un voltímetro de Cardew ordinario que debe estar bien aislado. También se pueden encender tubos de Geissler a través de los puntos de la barra doblada; en este caso, por supuesto, es mejor emplear capacidades más pequeñas. He encontrado que es factible encender de esta manera una lámpara, e incluso un tubo de Geissler, puenteado por un bloque de metal corto y pesado, y este resultado parece al principio muy curioso. De hecho, cuanto más gruesa sea la barra de cobre en la Fig. 128, mejor será para el éxito de los experimentos, ya que parecen más sorprendentes. Cuando se utilizan lámparas con filamentos largos y delgados, se observará a menudo que los filamentos vibran violentamente de vez en cuando, siendo la vibración más pequeña en los puntos nodales. Esta vibración parece deberse a una acción electrostática entre el filamento y el vidrio de la ampolla.

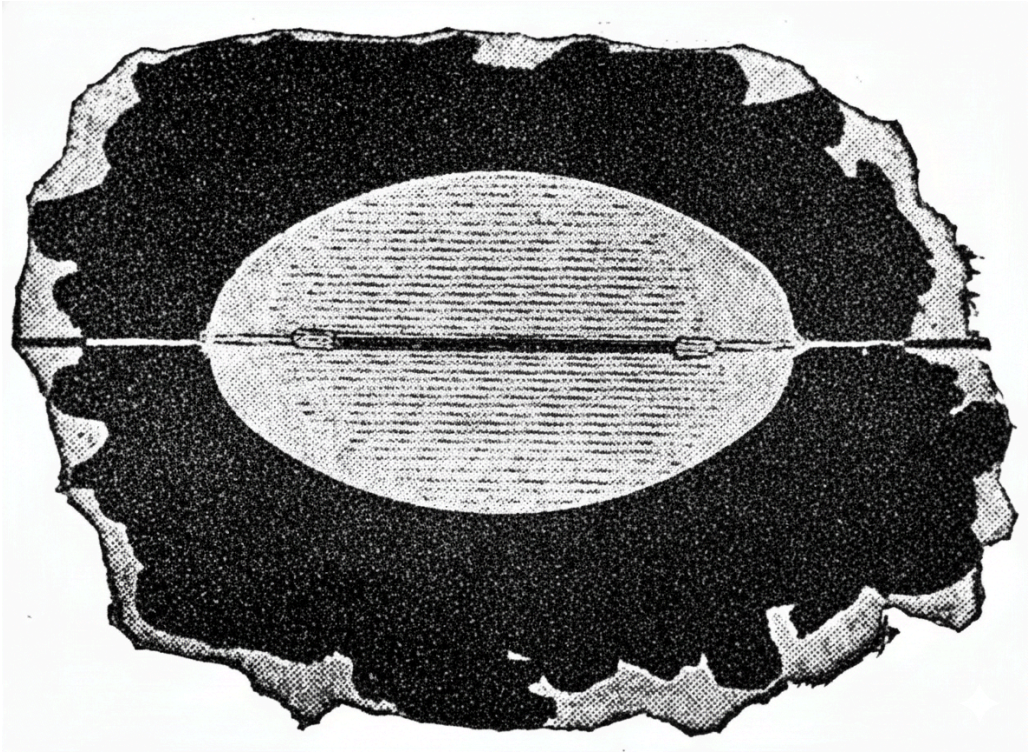


Fig. 129

En algunos de los experimentos anteriores es preferible utilizar lámparas especiales que tengan un filamento recto como se muestra en la Fig. 129. Cuando se utiliza una lámpara de este tipo, se puede observar un fenómeno aún más curioso que los descritos. La lámpara puede colocarse a través de la barra de cobre y encenderse, y utilizando capacidades algo mayores, o, en otras palabras, frecuencias más bajas o

impedancias impulsivas más pequeñas, el filamento puede llevarse a cualquier grado de incandescencia deseado. Pero cuando se aumenta la impedancia, se alcanza un punto en el que comparativamente poca corriente pasa a través del carbono, y la mayor parte a través del gas enrarecido; o quizás sea más correcto afirmar que la corriente se divide casi por igual a través de ambos, a pesar de la enorme diferencia en la resistencia, y esto sería cierto a menos que el gas y el filamento se comporten de manera diferente. Se observa entonces que toda la ampolla se ilumina brillantemente, y los extremos de los alambres de entrada se vuelven incandescentes y a menudo lanzan chispas como consecuencia del violento bombardeo, pero el filamento de carbono permanece oscuro. Esto se ilustra en la Fig. 129. En lugar del filamento se puede utilizar un solo alambre que se extienda a través de toda la ampolla, y en este caso el fenómeno parecería ser aún más interesante.

Del experimento anterior será evidente que, cuando se operan lámparas ordinarias con las corrientes convertidas, se deben tomar preferentemente aquellas en las que los alambres de platino están muy separados, y las frecuencias utilizadas no deben ser demasiado grandes, de lo contrario, la descarga ocurrirá en los extremos del filamento o en la base de la lámpara entre los alambres de entrada, y la lámpara podría entonces dañarse.

Al presentarles estos resultados de mi investigación sobre el tema en consideración, he prestado solo una atención pasajera a hechos sobre los que podría haberme extendido largamente, y entre muchas observaciones he seleccionado solo aquellas que pensé que más probablemente les interesarían. El campo es amplio y completamente inexplorado, y a cada paso se cosecha una nueva verdad, se observa un hecho novedoso.

Hasta qué punto los resultados aquí expuestos son susceptibles de aplicaciones prácticas, lo decidirá el futuro. En lo que respecta a la producción de luz, algunos resultados ya alcanzados son alentadores y me hacen confiar en afirmar que la solución práctica del problema se encuentra en la dirección que he tratado de indicar. Aun así, cualquiera que sea el resultado inmediato de estos experimentos, tengo la esperanza de que solo resultarán ser un paso en desarrollos posteriores hacia la perfección ideal y final. Las posibilidades que abre la investigación moderna son tan vastas que hasta el más reservado debe sentirse optimista sobre el futuro. Científicos eminentes consideran que el problema de utilizar un tipo de radiación sin los otros es racional. En un aparato diseñado para la producción de luz por conversión de cualquier forma de energía en la de luz, tal resultado nunca podrá alcanzarse, pues no importa cuál sea el proceso de producción de las vibraciones requeridas, ya sea eléctrico, químico o cualquier otro, no será posible obtener las vibraciones de luz más altas sin pasar por las vibraciones de calor más bajas. Es el problema de impartir a un cuerpo una cierta velocidad sin pasar por todas las velocidades inferiores. Pero existe la posibilidad de obtener energía no solo en

forma de luz, sino también de fuerza motriz, y energía de cualquier otra forma, de alguna manera más directa desde el medio. Llegará el tiempo en que esto se logrará, y ha llegado el tiempo en que uno puede pronunciar tales palabras ante una audiencia ilustrada sin ser considerado un visionario. Estamos girando a través del espacio infinito a una velocidad inconcebible, todo a nuestro alrededor está girando, todo se está moviendo, en todas partes hay energía. Debe haber alguna manera de aprovechar esta energía más directamente. Entonces; con la luz obtenida del medio, con la potencia derivada de él, con cada forma de energía obtenida sin esfuerzo, de la reserva por siempre inagotable, la humanidad avanzará a pasos agigantados. La mera contemplación de estas magníficas posibilidades expande nuestras mentes, fortalece nuestras esperanzas y llena nuestros corazones de supremo deleite.